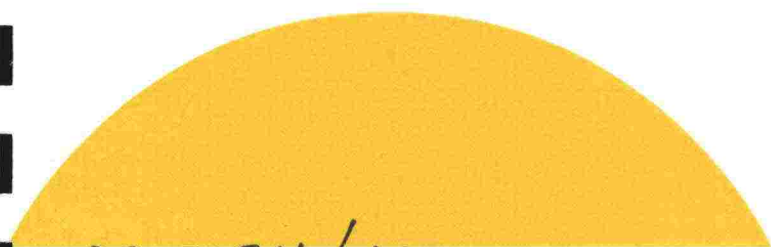
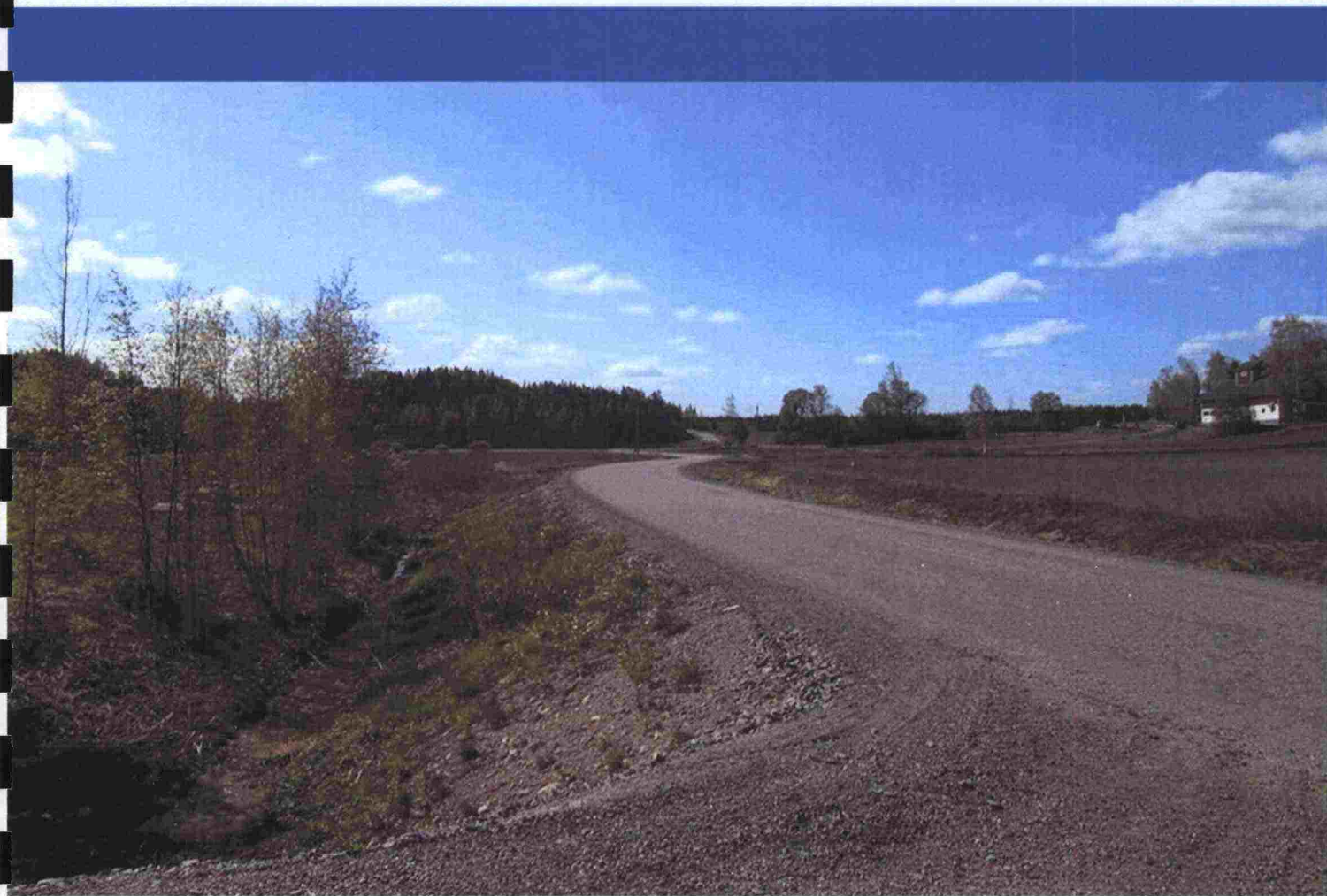


20040105



Ilola - Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouherakenteella

Raportti vuosien 1997-2002 seurantamittauksista



08 TIEH/120

 Tieliikelaitos

 FUNDUS

 VIATEK

20104002

ALKUSANAT

Tässä Uudenmaan tiepiirin tilaamassa raportissa käsitellään Ilola-Sannainen pt 11863 rengasrouhekoerakenteen mittauksia vuosilta 1997-2002. Koekohteen esittely, rakentaminen, instrumentointi sekä rakentamisen aikaiset havainnot ja mittaustulokset rakentamisen ja vuoden 1997 aikana on esitetty julkaisussa "Anu Repo, Ilola-Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouhekoerakenteella, raportti rakentamisesta ja seurantamittauksista (Tielaitoksen selvityksiä 19/1998)". Vuoden 1998 mittaustulokset on esitetty maaliskuussa 1999 ja vuoden 1999 mittaustulokset maaliskuussa 2000 ilmestyneissä raportissa. Tämä raportti on tehty samaan formaattiin kuin edelliset, jolloin raporttiin on päivitetty vuosien 1997-2002 mittaustulokset sekä tehty tulosten perusteella johtopäätökset rakenteen toiminnasta ja ympäristövaikutuksista. Seurantamittauksia on tarkoitus jatkaa ainakin ympäristövaikutusten osalta vuoteen 2007 saakka.

Koerakennuskohteen seurantamittauksista on vastannut Tieliikelaitos konsultointi Etelä-Suomen suunnittelupalvelut. Potentiometrimittaukset on tehnyt SCC Viatek-SGT ja vesinäytteet on analysoitu Suunnittelukeskus Oy:n ympäristölaboratoriossa.

Tämän raportin on kirjoittanut Veli-Matti Uotinen Fundus Oy:stä ja Erja Vallila SCC Viatek Oy:stä. Raportin kommentointiin ovat osallistuneet Petter Sandin Uudenmaan tiepiiristä, Mikko Smura ja Jorma Immonen Tieliikelaitoksesta ja Mikko Talola Lassila & Tikanoja Oy:stä.

Helsingissä joulukuussa 2003

Tieliikelaitos Konsultointi
Etelä-Suomen suunnittelupalvelut

Fundus Oy

SCC Viatek Oy



08 TIEH / 110

SISÄLLYSLUETTELO

ALKUSANAT	2
SISÄLLYSLUETTELO	3
1 JOHDANTO	4
2 RAKENNE JA INSTRUMENTOINTI	4
3 KANTAVUUSMITTAUKSET	5
3.1 Pudotuspainolaitemittaukset	5
3.2 E-moduulien takaisinlaskennat	7
4 SIIRTYMÄ- JA PAINUMAMITTAUKSET	9
4.1 Potentiometrimittaukset	9
4.2 Painumamittaukset	9
5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET	11
5.1 Koejärjestelyt ja mittaukset	11
5.2 Vesipintojen mittaukset	11
5.3 Kuivatustarkastelu	12
5.4 Pohjavesialueiden pohjavesipinnat	14
5.5 Lysimetrien vesinäytteet	15
5.6 Pohjavesinäytteet	17
5.7 Vesinäytteet Ilolanjoesta	20
5.8 Rengasrouheen laskennallinen kuormitus Ilolanjokeen	21
5.9 Yhteenveto pohjavesialueen muista tutkimuksista 2001-2002	21
5.10 Arvio rengasrouheen ympäristökelpoisuudesta	22
6 PÄÄTELMÄT JA EHDOTUS JATKOSEURANNASTA	22
LIITTEET	
Liite 1 Painumavaaitukset	
Liite 2 Vuoden 2001-2002 vesinäyteanalyysitulokset	

1 JOHDANTO

Tässä raportissa käsitellään rengasrouhekoerakenteen seurantamittauksia vuosilta 1997-2002. Koerakennuskohde sijaitsee Porvoossa paikallistiellä 11863 Ilola-Sannainen. Koerakennuskohde rakennettiin elo-syyskuussa vuonna 1997.

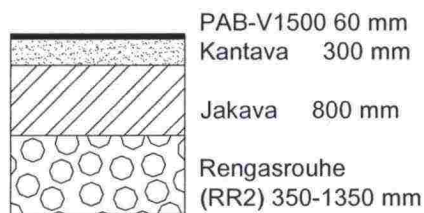
Koekohteen esittely, rakentaminen, instrumentointi sekä rakentamisen aikaiset havainnot ja mittaukset rakentamisen ja vuoden 1997 aikana on esitetty julkaisussa "Anu Repo, Ilola-Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouhekoerakenteella, raportti rakentamisesta ja seurantamittauksista (Tielaitoksen selvityksiä 19/1998)".

Tulokset on raportoitu vuosittain, maaliskuussa. Viimeisin raportti "Ilola-Sannainen pt 11863 painuman korjaus rengasrouherakenteella, seurantamittaukset vuodelta 1997-2000" raportoitiin maaliskuussa 2001.

2 RAKENNE JA INSTRUMENTOINTI

Koekohteessa on rengasrouhetta kiilamaisena rakenteena jakavan kerroksen ja pohjamaan välissä. Lisäksi puolet koekohteesta on tuettu teräsverkolla, joka sijaitsee noin 0.9 metrin syvyydellä päällysteen pinnalta.

Plv 970-1150



Plv 1150-1320



Kuva 1. Rakennekerrokset

Koeosuuksien instrumentoinnissa ja seurannassa on käytetty seuraavia menetelmiä:

1. kantavuusmittaukset pudotuspainolaitteella ja levykuormituskokeella
2. painumanastat
3. potentiometrit (2 kpl)
4. lysimetrit (2 kpl) + mittaus- ja keräyskaivo
5. pohjavesiputki

Tieliikelaitoksen konsultointi (aikaisemmin Tielaitos) on vastannut v.2000-2002 aikana mittauksista. Potentiometrimittaukset on tehnyt Harri Lähteinen Viatek-SGT Oy:stä ja vesinäytteet on analysoitu Suunnittelukeskus Oy:n ympäristölaboratoriossa. Suunnittelukeskus Oy on vastannut myös vesinäytteiden ottamisesta.

Mittaussuunnitelma ja toteutuneet mittausajankohdat on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Toteutuneet mittaukset vuosina 2001-2002.

SEURANTAMITTAUS 2001-2002	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Kantavuusmittaukset										14.10.02		
Painumavaaitus											vko 47/01	
Kuivatustarkastelu- mittaukset			14.3.02									
Ympäristövaikutukset Vesinäytteet kaivo+putki Vesinäytteet kaivo+putki+ Ilolanjoki							25.7.01				26.11.01 4.11.02	

3 KANTAVUUSMITTAUKSET

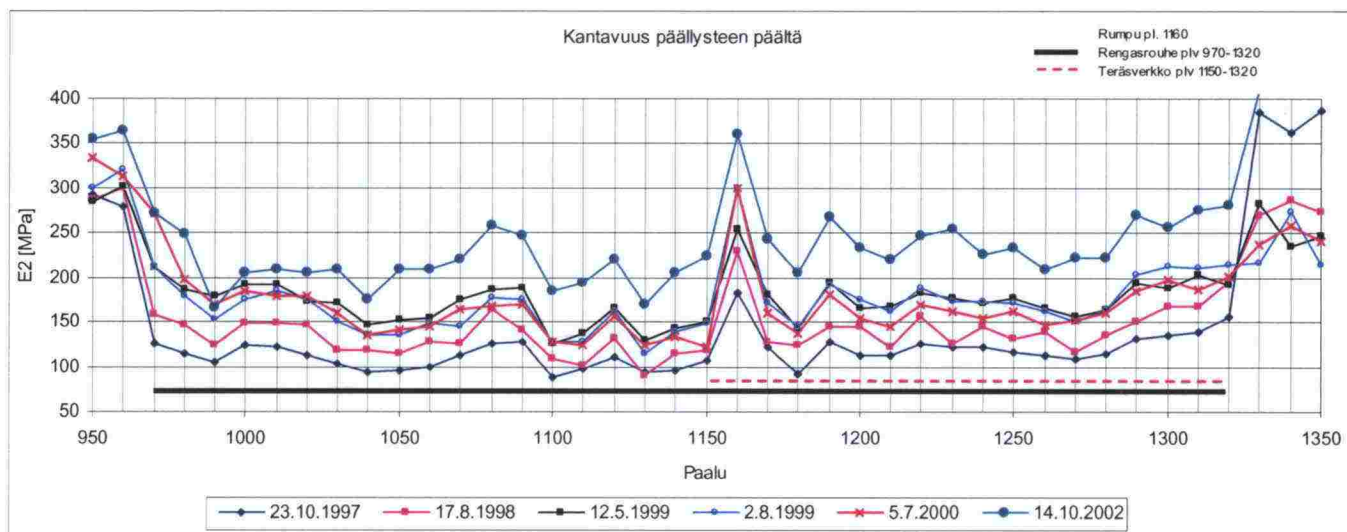
3.1 Pudotuspainolaitemittaukset

Pudotuspainolaitemittauksia on tehty vuoden 1999 jälkeen kaksi kertaa; 5.7.2000 ja 14.10.2002. Taulukossa 2 on esitetty plv 970 –1155 ja plv 1165 – 1320 pudotuspainolaitteella v. 1997 – 2002 mitattujen kantavuuksien keskiarvot, pienimmät ja suurimmat arvot. Lisäksi on esitetty päällysteen lämpötila, jolla on suuri vaikutus päällysteen jäykkyysmoduuliin.

Kuvassa 2 on esitetty kantavuustulokset tien pituussuunnassa.

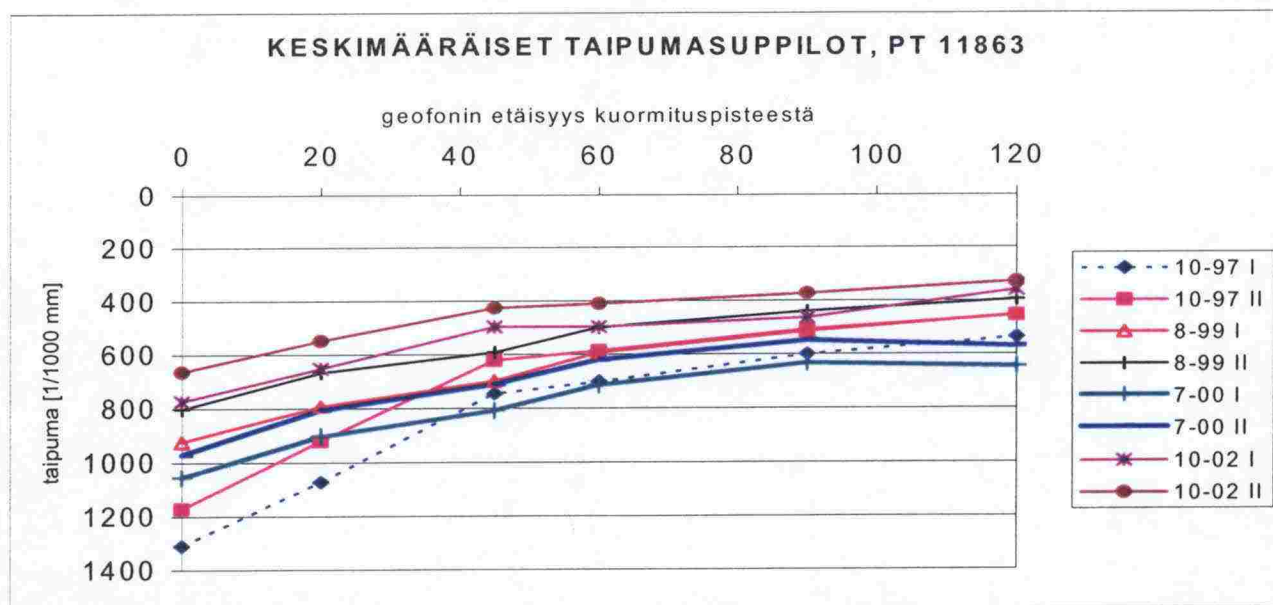
Taulukko 2. Pudotuspainolaitteella mitatut E_2 -arvot koeosuuksille plv 970 – 1155 ja plv 1165 – 1320 (teräs-
verkollinen).

	23.10.97 T= +1...+3°C	7.5.98 T= +8...+11°C	17.8.98 T= +16...+23°C	12.5.99 T= +20...+26°C	2.8.99 T= +28...+35°C	5.7.00 T= +25...+32°C	14.10.02 T= +3...+4°C
E_2 plv 980-1155							
Pienin	88	99	89	129	114	121	165
Suurin	127	157	163	210	210	198	259
Keskiarvo	108,2	128,6	128,6	165,9	155,5	154,4	208,7
E_2 plv 1165-1320							
Pienin	92	125	116	142	145	137	206
Suurin	156	168	195	204	215	202	281
Keskiarvo	122,6	144,8	143,1	176,1	179,1	165,8	241,7



Kuva 2. Pudotuspainolaitteella mitatut kantavuudet.

Kahden ensimmäisen vuoden kaltainen kantavuuden parantuminen on pysähtynyt vuoden 1999 syksyllä. Vuoden 2000 mittauksen perusteella kantavuus on hieman jopa pienentynyt edellisestä vuodesta, erityisesti teräsverkollisella osuudella (plv 1170 – 1300). Vuonna 2002 kantavuudet ovat huomattavasti kohonneet; kantavuudet ovat noin 100 % paremmat verrattuna tien valmistumiseen ja 25...45 % paremmat verrattuna vuosien 1999-2000 kantavuuksiin. Tämä johtuu ilmeisesti suurimmaksi osaksi alhaisesta lämpötilasta mittauksen aikana. Viimeisimmän mittauksen mukaan teräsverkollisen osuuden kantavuus on noin 15 % parempi kuin osuuden, missä ei ole teräsverkkoa. Kuvassa 3 on esitetty pudotuspainokokeiden tiedoista käsitellyjä keskimääräisiä taipuman arvoja. Kuvassa esitetyt käyrät I tarkoittavat plv 980 – 1150 mittaustuloksista ja käyrät II plv 1170 – 1300 (teräsverkollinen rakenne) mittaustuloksista laskettuja keskimääräisiä taipumia. Taipumasuppiloista voidaan havaita, että rakenne on kauttaaltaan jäykistynyt ja erityisesti rakenteen yläosasta (geofonit 0, 20 ja 45) vuosien 1997 – 2002 aikana.



Kuva 3. Keskimääräiset taipumasuppilot. I = plv 980 – 1150, II = plv 1170 – 1300 (teräsverkollinen osuus).

Vauriosumman kanssa kohtuullisen hyvin korreloiva tunnusluku (pintakantavuusindeksi) SCI (=geofonin d_0 ja d_{200} välinen erotus) on vuonna 2000 hieman huonontunut verrattuna vuoteen 1999, mutta vuonna 2002 indeksi on kohonneen kantavuuden myötä parantunut huomattavasti.

Taulukko 3. Pintakantavuusindeksin SCI (= $d_0 - d_{200}$) keskiarvot [μm].

Koeosuus/mittauspvm.	23.10.97	7.5.98	17.8.98	12.5.99	2.8.99	5.7.2000	14.10.2002
Plv 980-1150, ei verkkoa	240	243	213	174	132	151	122
Plv 1170-1300, teräsverkko	252	245	217	179	134	161	117

Vauriosumman (pituus-, poikki-, verkkohalkeamien, reikien ja purkautumien määrä) on todettu tavanomaisilla tierakenteilla alkavan huomattavasti nousta, kun SCI on yli 180 μm . Koetien SCI-arvot ovat pienentyneet viimeisen mittaukserran perusteella huomattavasti alle 180 μm . Teräsverkollisen alueen SCI-arvo on hieman huonompi kuin teräsverkottoman rakenteen. Mittaustarkkuuden rajoissa arvoja voidaan kuitenkin pitää lähes samoina. Teräsverkon vaikutus ei näy pintakantavuusindeksissä SCI (d_0 ja d_{200} välinen ero) vaan ero alkaa näkyä vasta d_0 :n ja d_{600} :n tai d_0 :n ja d_{900} :n välisestä erotuksesta. Asiaa voidaan tarvittaessa tarkastella seuraavissa raporteissa.

3.2 E-moduulien takaisinlaskennat

Rengasrouheen E-moduulin suuruutta arvioitiin Odemarkin menetelmällä ja APAS-ohjelmalla takaisinlaskemalla.

Odemarkin menetelmä

Odemarkin menetelmässä PAB-kerroksen, kantavan ja jakavan kerroksen E-moduulit oletettiin vakioiksi ja rengasrouheen E-moduulia muuttaen pyrittiin lasketut kantavuudet saamaan samaksi kuin mitatut kantavuudet. Vuonna 2002 takaisinlaskennassa tarkasteltiin PAB-päällysteen jäykentymistä ajan ja mittaushetken alhaisen lämpötilan takia. Pohjamaan E-moduulin vaihtelun merkitystä myös analysoitiin.

Takaisinlaskennat tehtiin rakenteelle A, missä rengasrouheen paksuutena käytettiin 1,0 metriä (vastaa noin plv 1080 – 1110 ja plv 1190 – 1230) sekä rakenteelle B, missä rengasrouheen paksuutena käytettiin 0,35 metriä (vastaa noin plv 970 – 980 sekä plv 1290 – 1310). Teräsverkkoa ei Odemarkin menetelmässä otettu huomioon.

Laskelmien tulokset on esitetty taulukoissa 4 ja 5.

Taulukko 4. Rakenne A, takaisinlaskennan lähtöarvot ja tulokset Odemarkin menetelmällä.

Rakennekerros		Käytetty E-moduuli (MN/m ²)				
Vuosi	Paksuus (cm)	1998	1999	2000	2002	2002
PAB-V1500	6	1500	1500	1500	1500	2500
Kantava kerros	30	280	280	280	280	280
Jakava kerros	80	200	200	200	200	200
Rengasrouhe RR2	100	1,6	2,5	2,2	5,3	4,0
Pohjamaa		5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40
Laskettu kantavuus [MN/ m ²]		127 – 128 – 128 – 129	163 – 164 – 165 – 165	153 – 154 – 155 – 155	208 – 209 – 210 – 211	209 – 210 – 210 – 211

Taulukko 5. Rakenne B, takaisinlaskennan lähtöarvot ja tulokset Odemarkin menetelmällä. Plv 970-980 ja 1290-1310 mitatut kantavuudet v.98 mittauksissa vaihdelleet noin 142 – 168 MN/m² välillä, v.99 mittauksissa 178-213 MN/m² välillä, vuoden 2000 mittauksissa 170-198 MN/m² ja vuoden 2002 mittauksissa 246-315 MN/m².

Rakennekerros		Käytetty E-moduuli (MN/m ²)				
Vuosi	Paksuus (cm)	1998	1999	2000	2002	2002
PAB-V1500	6	1500	1500	1500	1500	2500
Kantava kerros	30	280	280	280	280	280
Jakava kerros	80	200	200	200	200	200
Rengasrouhe RR2	35	1,6	2,5	2,2	5,3	4,0
Pohjamaa		5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40	5 – 10 – 20 – 40
Laskettu kantavuus [MN/ m ²]		149 – 159 – 164 – 167	176 – 187 – 192 – 195	169 – 179 – 186 – 189	207 – 220 – 230 – 234	213 – 225 – 234 – 240

Takaisinlaskentojen perusteella voidaan olettaa, että rengasrouheen E-moduuli on rakentamisen jälkeen parantunut vähintään 50 % (v.1999 – 2000 vrt. 1998) tai jopa kaksinkertaistunut (v.2002 mittaukset vrt. v.1998). Poikkeuksellisen kuiva syksy ja sen parantava vaikutus saven kantavuuteen on havaittavissa rakenteessa, missä rengasrouheen paksuus on pieni (taulukko 5). Kun rengasrouhekerros on riittävän paksu (esim. 1.0 m), ei pohjamaan kantavuudella ole laskennallisesti

käytännön merkitystä kantavuuteen, jolloin saadaan paras arvio itse rengasrouheen moduulista ja sen vaihtelusta.

APAS-takaisinlaskennat

APAS-ohjelmalla voidaan arvioida rakenteessa toteutuvia kerrosten E-moduuleja analysoimalla pudotuspainolaitteella saatuja mittaustuloksia. Vaihtelemalla kerrosten laskentaparametrien arvoja voidaan ohjelmalla yrittää hakea taipumasuppilon kuvaajaa, joka parhaiten vastaa muodoltaan mittaustuloksia.

Päivämäärien 17.8.1998, 12.5.1999, 2.8.1999, 5.7.2000 ja 14.10.2002 mittaustulosten takaisinlaskennassa lähdettiin siitä, että pohjamaan moduuli pidettiin samana ($E=40$ MPa) kuin Anu Revon raportissa tehtiin, mutta PAB-V päällysteelle ja sitomattomille kerroksille annettiin "vakioarvot". Taipumasuppilo pyrittiin sovittamaan mittaustuloksia vastaavaksi ainoastaan rengasrouheen E-moduulia muuttamalla. Päivämäärien 12.5.1999, 2.8.1999 ja 5.7.2000 mittaustulosten takaisinlaskennassa kasvatettiin lisäksi PAB -päällysteen jäykkyysmoduulia, jotta päästiin hyvään taipumasuppilosovitukseen. Viimeisimmässä mittauksessa 14.10.2002 tien pinnan lämpötila oli $+3...+4$ °C ja ilman $+1...+2$ °C, jolloin päällyste on jo hyvin jäykkää ja on perusteltua käyttää vielä suurempaa E-moduulia. Taulukossa 6 on esitetty takaisinlaskennan tulokset.

Taulukko 6. E-moduulin takaisinlaskenta päällysteen päältä 23.10.1997, 17.8.1998, 12.5.1999, 2.8.1999, 5.7.2000 ja 14.10.2002 tehdyistä pudotuspainomittauksista.

Materiaalikerros	Kerroksen paksuus d [cm]	Poissonin vakio v	Jäykkyys-moduuli E [MPa]	Jäykkyys-moduuli E [MPa]	Jäykkyys-moduuli E [MPa]	Jäykkyys-moduuli E [MPa]	Jäykkyys-moduuli E [MPa]	Jäykkyys-moduuli E [MPa]
			23.10.1997	17.8.1998	12.5.1999	2.8.1999	5.7.2000	14.10.2002
PAB-V	6	0,35	1 500	2 665	4 000	4 000	4 000	10 000
Kalliomurske	30	0,35	200	280	280	280	280	280
Sora	80	0,35	160	200	200	200	200	200
Rengasrouhe RR2	100	0,35	2	3,2	8	5	5	11
Pohjamaa		-	40	40	40	40	40	40

Tuloksissa on huomattavaa, että kantavuuden parantuminen keskimääräisestä 115 MN/m^2 :stä yli 200 MN/m^2 :iin vaikuttaa APAS-ohjelmalla takaisinlaskettaviin rakennekerrosten E-moduuleihin merkittävästi. Takaisinlaskennan tuloksiin on syytä suhtautua varauksella, koska minkään kerroksen E-moduulia ei voida varmuudella määrittää todellisuutta vastaavaksi. Muillakin E-moduulien kombinaatioilla voidaan päästä yhtä hyvin taipumasuppilosovituksiin, kuin taulukossa 6 esitetyillä arvoilla.

Kantavuuden parantuminen näyttäisi johtuvan rakentamista seuranneen toisen vuoden aikana etupäässä rengasrouhekerroksen jäykentymisestä. Osaltaan parantunut kantavuus johtuu edelleen PAB-päällysteen ajan myötä tapahtuvasta jäykistymisestä eli kovenemisestä. Rengasrouhekerroksen jäykistyminen voi johtua rengasrouheen tiivistymisestä, rengasrouhepalojen asettumisesta liikennekuormituksen vaikutuksesta toisiinsa nähden limittäin ja staattisen kuormituksen aiheuttamasta rouhepalojen keskinäisten kosketuspintojen suurenemisesta.

4 SIIRTYMÄ- JA PAINUMAMITTAUKSET

4.1 Potentiometrimittaukset

Koekohteeseen on asennettu pl 1100 ja pl 1180 potentiometrit rengasrouhekerroksen kokoonpuristuvuuden arvioimiseksi. Potentiometrien asentamisesta on kerrottu julkaisussa Tielaitoksen selvityksiä 19/1998. Potentiometrit mitattiin vuonna 2000 elokuussa. Taulukossa 7 on esitetty mittaustulokset tähän saakka.

Kokonaiskokoonpuristumista laskettaessa on tehty oletus, että kun potentiometrit asennettiin uudestaan, niin 19.9.97 tilanne uusien kalibrointi-arvojen mittaamisen jälkeen vastaa tilannetta, mikä oli 13.9.97.

Taulukko 7. Potentiometrimittaukset

Mittaus- pvm	Mittalukema		Vastaa siirtymää		Huomioitavaa
	[V] PL1100	[V] PL1180	[cm / %] PL1100	[cm / %] PL1180	
8.9.97	0,805	0,731	-	-	Heti asennuksen jälkeen (kalibroitu)
13.9.97	0,205	0,209	15 cm / 11,4 %	13,1 cm / 9,4 %	Kantava kerros tehty, päätös uudelleen asentamisesta
19.9.97	0,249 0,748 0,607	0,209 0,644 0,589	13,9 -12,5 3,5	13,1 -10,9 1,4	Rakenne kaivettiin auki Nosto (ero edelliseen) Rakenteet päälle tiivistettynä, uudet kalibrointi arvot
12.12.97	0,556	0,551	1,3 cm / 1,0 %	1,0 cm / 0,7 %	Päällystys + 3kk liikenteen vaikutus
17.4.98	0,546	0,552	1,5 cm / 1,1 %	0,9 cm / 0,6 %	Kuormituksessa ei muutosta
7.11.98	0,536	0,551	1,8 cm / 1,4 %	1,0 cm / 0,7 %	Kuormituksessa ei muutosta
24.3.99	0,526	0,551	2,0 cm / 1,5 %	1,0 cm / 0,7 %	Kuormituksessa ei muutosta
25.8.99	0,521	0,550	2,2 cm / 1,7 %	1,0 cm / 0,7 %	Kuormituksessa ei muutosta
11.8.2000	0,548	0,549	1,5 cm / 1,1 %	1,0 cm / 0,7 %	Kuormituksessa ei muutosta
Yhteensä 8.9.97 verrattuna			16,5 cm / 12,6 %	14,1 cm / 10,0 %	

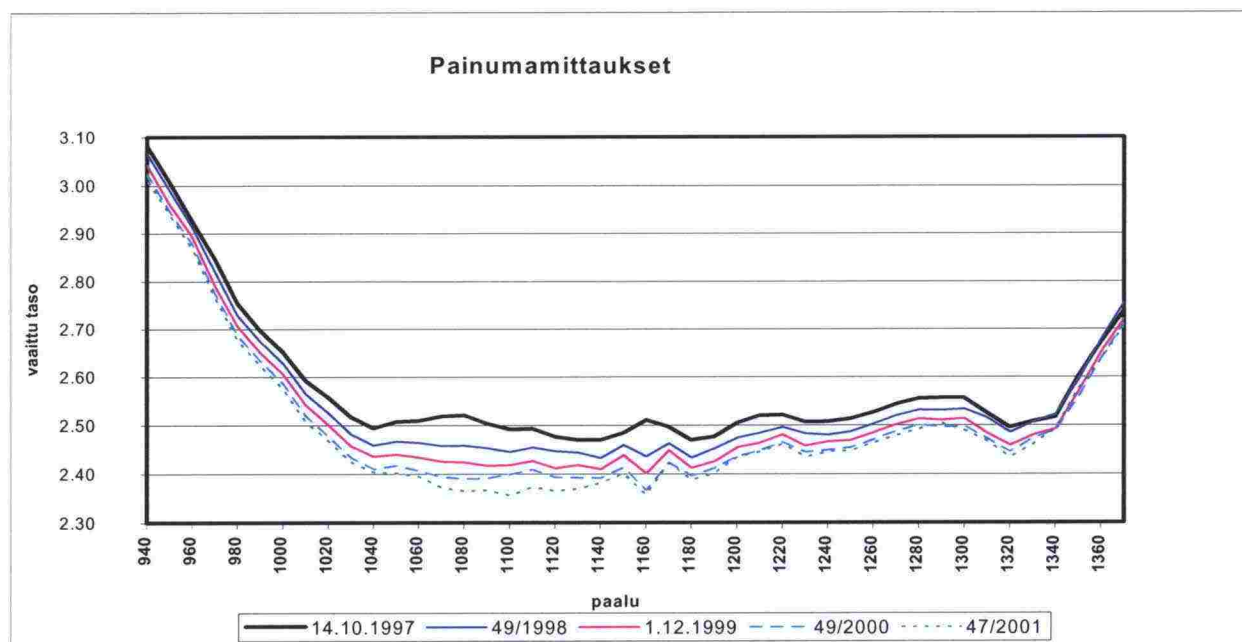
Paalulla 1100 mittausten mukaan rengasrouhekerros on päällystämisen jälkeen kokoonpuristunut noin loppukesään -99 noin 9 mm, jonka jälkeen mittauksen mukaan rengasrouhekerros on "laajentunut" viimeisen vuoden aikana 7 mm. Paalulla 1180 ei ole tapahtunut kokoonpuristumista 12.12.97 jälkeen. Rakentamisen aikaisten vaaitusten perusteella RR-kerroksen toteutuneet paksuudet olivat paalulla 1100 1,31 m ja paalulla 1180 1,40 m. Kokonaisuudessaan rengasrouhekerros on paalulla 1100 kokoonpuristunut rakentamisen aikana ja noin 35 kuukautta liikenteellä olon jälkeen yhteensä noin 16,5 cm (12,6 %) ja paalulla 1180 14,1 cm (10,0 %). Tulosten perusteella voidaan olettaa, että rengasrouhekerros tiivistyy 10 – 13 % heti päällysrakenteiden rakentamisen aikana, kun rakennekerrokset ovat noin 1,1 – 1,2 metriä paksut ja tämän jälkeen kokoonpuristuminen on hyvin vähäistä, lähes mittaustarkkuuden rajoissa.

4.2 Painumamittaukset

Tien pinnan painumaa seurattiin vaaituksin 3 kertaa vuonna 2000: toukokuussa, elokuussa ja joulukuussa ja vuonna 2001 marraskuussa. Painumia on mitattu 20 – 40 metrin välein asennetuista painumanastoista sekä 10 metrin välein muilta paaluilta tien molemmista reunoista ja keskilinjalta. Kaikki painumamittaustulokset on esitetty liitteessä 1.

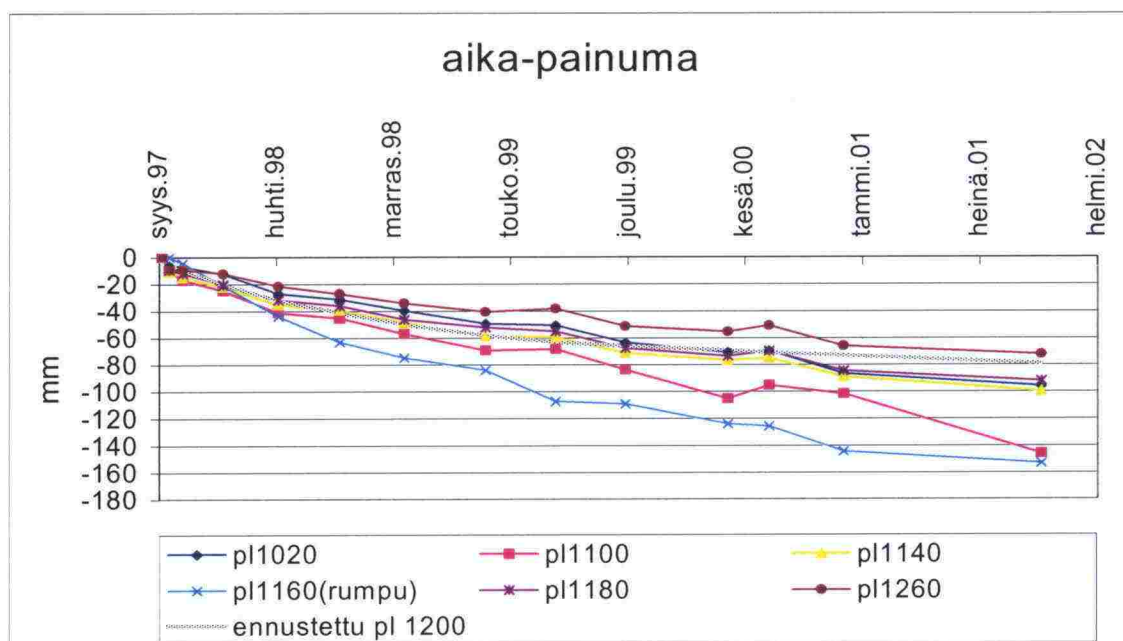
Noin 50 kuukautta päällystämisen jälkeen tieosuuden painumat ovat noin 50 – 153 mm ollen keskimäärin noin 90 mm. Kuvassa 4 on esitetty tien keskilinjan kohdalta pinnan profiili päällystämisen jälkeen, marraskuussa 1998, joulukuussa 1999, joulukuussa 2000 ja marraskuussa 2001. Kuvan 4 ja liitteen 1 perusteella voidaan todeta, että painuminen on suurinta plv 1040 – 1100 sekä rummun kohdalla. Plv 970 – 1160 keskimääräinen painuminen on ollut noin 107 mm ja teräsverkollisen

osuuden plv 1160 – 1320 painuminen on ollut keskimäärin noin 69 mm. Rummun kohdalla koko rakenne on tehty kiviaineksesta, joten tierakenteen kuormitus pohjamaalle on huomattavasti suurempi kuin muulla tieosuudella. Rummun kohdalla kokonaispainuma 50 kuukautta rakentamisen jälkeen on noin 133 – 153 mm. Rummun kohdalla tien pinta on noin 70 mm alempana hyvin lyhyellä matkaa, jolloin pituuskaltevuuden muutos on suuruusluokkaa 1,4 – 2,3 % ($L = 3 - 5$ m). Täten painumaero alkaa olla liikennettä ja ajomukavuutta häiritsevä 60 km/h ajonopeudella.



Kuva 4. Tien pinnan tasaus keskilinjalla päällystämisen jälkeen. Mittausten väli 11,5-12,5 kuukautta.

Painuminen on tapahtunut suhteellisen tasaisesti ja lähes ennustetun mukaisesti. Paalun 1200 painuma-arvioon verrattuna koetien toteutunut keskimääräinen painuma 50 kk:n jälkeen on noin 15-20 % suurempi. Kuvassa 5 on esitetty painuminen paaluilla 1020, 1100, 1140, 1160, 1180 ja 1260 ajan funktiona.



Kuva 5. Painuminen ajan funktiona.

Elokuun 2000 mittauksessa voi olla pieni virhe, koska mittausten mukaan tien pinta on hieman kohonnut elokuussa vrt. huhtikuuhun; plv 970 – 1150 keskimääräinen kohoaminen on ollut 0,6 mm ja plv 1150 – 1320 2,5 mm. Suurin yksittäinen arvo on noin 10 mm. Myös paaluväli 1330 – 1370, mille ei ole tehty toimenpiteitä olisi hieman kohonnut, mikä viittaisi pieneen mittausvirheeseen. Toisaalta samaa ”kohoamis-/painuman tasaantumisilmiötä” on havaittavissa myös vuoden 1999 huhti- ja elokuun välisissä mittauksissa. Vuoden 2001 pl 1100 painuman kiihtyminen on yksittäinen, hyvin paikallinen tulos, koska esim. saman paaluluvun reunoilla vastaavaa ”notkahdusta” ei mittausten mukaan ole.

Koerakenne suunniteltiin siten, että pohjamaalle tien korottamisen jälkeen tulee lisäkuormaa noin 0 – 2.5 kPa. Laskelmissa ei ole otettu huomioon rengasrouhekerroksen kokoonpuristumista, minkä suuruus potentiometrimittauksien perusteella tähän mennessä voi olla suuruusluokkaa 0 – 10 mm. Painumaennusteen mukaan 100 mm painuma tapahtuu 7 vuoden kuluessa rakentamisesta (v. 2004) ja 20 vuoden kuluttua (v. 2017) painuman suuruuden ennustetaan olevan 160 mm.

5 YMPÄRISTÖVAIKUTUKSET

5.1 Koejärjestelyt ja mittaukset

Ympäristövaikutusten seuranta varten ennen rakentamista asennettiin paalulle 1060 muovinen pohjavesiputki (pituus 19,5 m, siiviläosa 18,5 – 19,5 m syvyydessä) ja rakentamisen yhteydessä asennettiin plv 1062 – 1065 kaksi lysimetrialtaasta, jotka on yhdistetty yhteiseen mittaus- ja keräyskaivoon. Helmikuussa 2000 asennettiin uusi muovinen pohjavesiputki noin paalulle 1080, koska epäiltiin paalulla 1060 sijaitsevan pohjavesiputken toimintaa. Paalulla 1080 sijaitsevan putken pituus on 26 metriä, ja siiviläosa on 25 - 26 m syvyydessä. Pohjavesiputkien vesinäytteet on otettu noin 5,8 – 6,0 metrin syvyydeltä putken päästä eli noin tasolta -3,1 – -3,3.

Vesinäytteiden laboratorioanalyysit on tehty seuranta-aikana Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa ja Suunnittelukeskuksen laboratoriossa. V. 1997 – 1998 kaikki analyysit on tehty Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen laboratoriossa. Vuosien 1999 – 2001 analyysit on tehty Suunnittelukeskus Oy:n ympäristölaboratoriossa lukuunottamatta PAH-määrittäyksiä. PAH-määrittäykset tehtiin Helsingin kaupungin ympäristökeskuksen ympäristölaboratoriossa lukuunottamatta 5/99 otettuja näytteitä, joiden PAH-yhdistemäärittäykset tehtiin Lahden tutkimuslaboratoriossa.

Maaliskuussa 2002 mitattiin kohteen sivuojen, rumpujen, laskuojan ja Ilolanjoen korkeustasot kuivatustarkastelua varten.

5.2 Vesipintojen mittaukset

Koeosuudella rengasrouhekerroksen alapinnan taso on syvimmillään noin - 0,30 m noin paalulla 1160. Paaluvälillä 1062 – 1065, missä lysimetrialtaat sijaitsevat, rengasrouheen alapinta on noin tasolla +0,25 – +0,45 m.

Taulukossa 8 on esitetty pohjavesipintahavainnot ja lysimetrien keräyskaivossa olevan veden pinta. Mittaukset on suoritettu näytteenottojen yhteydessä. Pohjavedenpinta on vaihdellut noin tasolla - 0,77 — +1,12 m pohjavesiputkihavaintojen mukaan.

Lysimetrissä vesipinta on vaihdellut tasolla +0,76 — +1,01 m. Keräyskaivo on pumpattu tyhjäksi näytteenottojen yhteydessä.

Rengasrouhetta huuhtelevan orsivesialtaan tilavuus, kun orsiveden pinnan oletetaan olevan tasolla +0,7 — +0,9 m, on noin 1550 – 2050 m³. Orsivesi ei ole hydraulisessa yhteydessä varsinaiseen pohjaveteen, mikä on 10 - 25 metrin paksuisen savikerroksen alapuolella.

Taulukko 8. Pohjavesipintatiedot, mittaus- ja keräyskaivon vesikertymät.

Pvm	Pohjaveden pinta	Lysimetri- kaivon Vesipinta	Lysimetrikaivon vesimäärä [l]
18.11.97	-0,66	+ 0,86*	78,8
27.5.98	+0,44	+0,76	71,0
1.10.98	+0,35	+0,84	77,2
26.3.99	+0,24	+0,76	71,0
4.5.99	+1,12	+0,91	82,7
14.10.99	-0,77	+0,88	80,3
17.2.00	+0,60	+1,01	90,5
30.5.00	+0,20	+0,97	87,4
13.12.00	-0,57	+1,22	106,9
23.1.01	--	+0,94	85,02
18.7.01	--	+0,88	80,3
24.7.01	+0,15	--	--
26.11.01	+0,40	+0,98	88,1
13.3.02	+0,40	+1,11**	103,74
4.11.02	+1,08	+0,76	76,44

* 18.11 – 26.11.01 havainnot on laskettu alkuperäisen lysimetrikaivon korkeustason mukaan. 13.3.02 lysimetrikaivon korkeustaso mitattiin, ja todettiin, että 4,5 vuoden aikana kaivo ja lysimetrit ovat painuneet noin 75 mm.

5.3 Kuivatustarkastelu

Ilolanjoen vesipinnan ja sivuojen yhteys

Sulan maan aikana jokivedellä on esteetön pääsy (laskuojassa olevan betonisen halk. 500mm:n rummun kautta) tien sivuosiin, kun joen veden pinta on yli tason + 0,35 m, mikä on tien sivuojen matalin kohta. Kun vesipinta nousee joessa yli tason +0,6...+0,65 m, jokivesi pääsee pl 1160 rummun kautta oikeaan sivuojaan. Kun joen vesipinta nousee tasolle +1,0 m, vasemmassa sivuojassa on vettä noin plv 1115 – 1250 ja oikeassa sivuojassa noin plv 1145 – 1175. Vasemmassa sivuojassa on noin paalulla 1090 padottava kohta, mikä estää veden virtauksen sivuojassa (molempiin suuntiin) kun vesipinta on alle tason +2,0 m. Oikeassa sivuojassa ei merkittäviä padottavia kohtia ole.

Lysimetrin vesipinnan ja muiden vesipintojen yhteys

Lysimetrissä olevan veden korkeustaso on vaihdellut noin tasolla +0,76 — +1,20 m. Tien painumisen yhteydessä myös lysimetrit ja lysimetrin tarkkailukaivo ovat painuneet, joten joka mittauksella ei ole tiedossa absoluuttista vedenpinnan korkeustasoa. Taulukossa 8 aikavälillä 27.5.98 – 26.11.02 mitatut vedenpinnan korkeudet ovat noin 1–7 cm liian suuria.

Lysimetrien rakenteesta johtuen lysimetrialtaiden alin reuna on noin tasolla +0.76. Oletettavasti lysimetriallas on kaikkina aikoina ollut reunojaan myöten täynnä vettä. Mahdollista olisi pitkänä sateettomana kautena kesällä, että lysimetrissä oleva vesipinta haihtumisen takia hieman laskisi alle tason +0.76, mutta tätä ei ole tehdyissä mittauksissa havaittu. Lysimetrissä olevan veden pinta ei siis matalan veden aikana välttämättä kuvaa rengasrouherakenteessa vallitsevaa vedenpintaa. Toisaalta kun vesipinta on yli +0.76, niin lysimetrin vesipinta kuvaa koko rengasrouherakenteessa olevaa vedenpintaa. Rengasrouheen vedenläpäisevyys on niin suuri, että vesi pääsee liikkumaan

varsin vapaasti pitkin rengasrouherakennetta ja todennäköisesti rengasrouhekerroksessa vesipinnan gradientti (kaltevuus) on hyvin pieni ts. vesipinnan korkeus koko rakenteessa tietyllä hetkellä lähes sama.

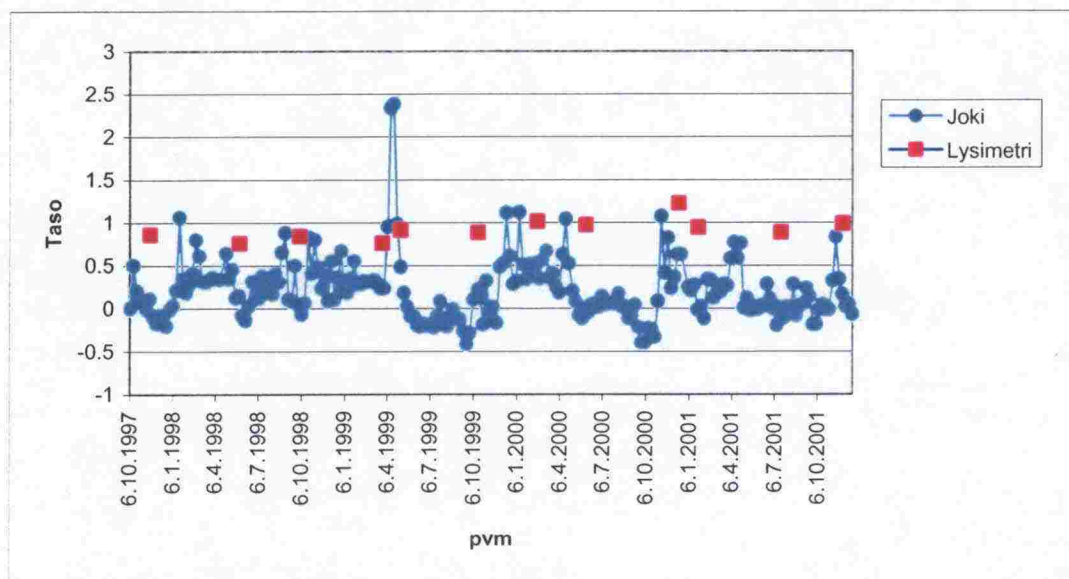
Teoriassa kuivana kautena saveen kaivettu rengasrouherakenne pääsee kuivamaan noin tasolle +0,35 m, mikä on tien sivuojien alin korkeus. Rengasrouherakenne on tehty lihavaan saveen kaivamalla "kaukalo", missä kaukalon reunat muodostuvat käytännössä vettä läpäisemättömästä lihavasta savesta. Poikkileikkausten perusteella noin plv 1120 –1160 vasemmassa reunassa, kaukalon yläreunan taso on noin +1,2 m. Muualla kaukalon reunan taso on korkeammalla. Esimerkiksi v.1999 touko-lokakuussa joen pinnan korkeus oli koko ajan alle tason +0,2 m, mutta vesipinta rengasrouhe-rakenteessa säilyi tasolla +0,8 - +0,9 m. Tämä osoittaa, että kaukalo on lähes vedenpitävä.

Todennäköistä on, kun vesipinta joessa ja sivuoissa nousee yli tason +1,2 m, pääsee vesi luiskatäytteen läpi virtaamaan suhteellisen esteettömästi kaukalon "reunan" yli rengasrouherakenteeseen ja päin vastoin. Tällöin jokiveden pinta ja rengasrouheessa oleva vedenpinta yhtyvät pienellä viiveellä riippuen luiskatäytteen vedenläpäisevyydestä. Vedenpinnan laskiessa tason +1,2 m alle vettä ei juuri sivuoista pääse siirtymään rengasrouherakenteeseen ja rengasrouheessa olevan vesipinta laskee varsin hitaasti purkautumalla kaukalon yläreunan läpi sivuojiin (yläreunassa voi olla vettä johtavampia kohtia esim. saven halkeillessa kuivuuden takia).

Johtopäätökset

Rengasrouherakenne on käytännössä vesitiiviissä kaukalossa, missä vesipinta ei pääse laskemaan noin tasoa +0,75 m alemmaksi ellei tule todella pitkää ja poikkeuksellista sateetonta kuivaa kautta. Rengasrouhekerroksen vesimäärä lisääntyy etupäässä asfaltille kertyvän sadeveden imeytyessä enimmäkseen piennarmurskeen läpi tien rakennekerrokseen ja sitä kautta rengasrouherakenteeseen. Kun sivuoissa ja Ilolanjoessa vesipinta nousee yli +1,2 m, pääsee myös jokivettä rengasrouherakenteeseen. Tulva-aikana jokivedellä on siis huuhteleva vaikutus rengasrouheeseen. Pääasiassa rengasrouherakenteessa oleva vesi on varsin stabiilissa tilassa ja vedenpinnan vaihtelut johtuvat lähinnä sateiden määrästä.

Kohteen valmistumisen jälkeen tulva-vesi on ilmeisesti vain yhden kerran huhtikuussa 1999 varsinaisesti "huuhdellut" rengasrouherakennetta (ks. kuva 6).



Kuva 6. Joesta ja tierakenteen lysimetristä mitattujen vesipintojen vaihtelu 1997-2001.

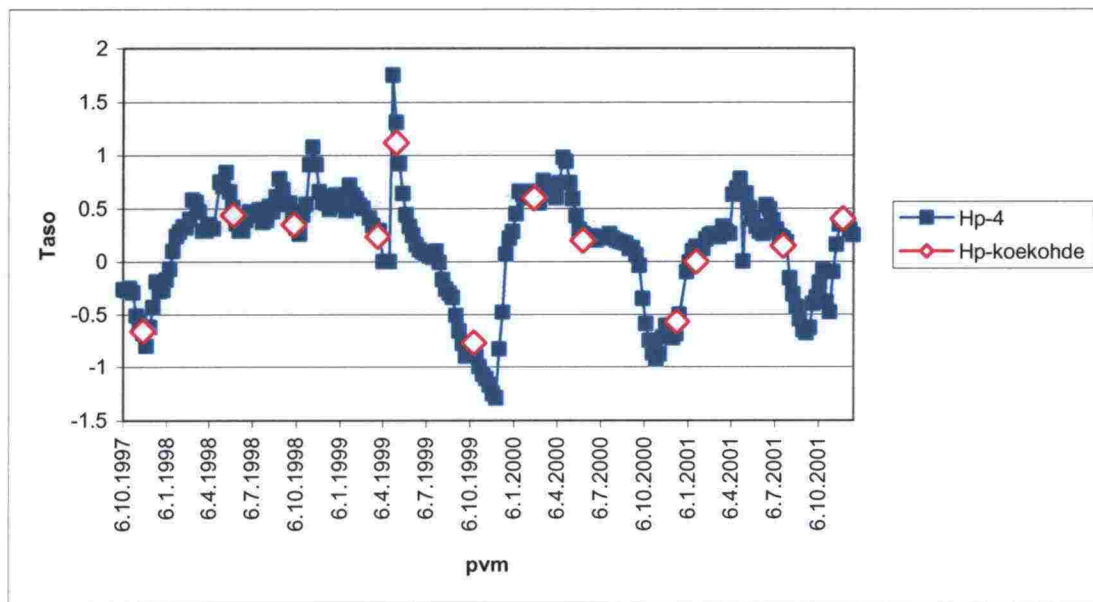
Vasemmassa sivuojassa noin pl 1090 oleva "pato" aiheuttaa sen, että vasemmassa sivuojassa pl:ta 1090 pohjoisesta päin tulevat pintavedet ainakin osittain imeytyvät luiskatäyteen läpi rengasrouheeseen.

Pysyvästi vedenpinnan alapuolella on rengasrouhetta noin 1500 – 2000 m³rtr ja vedenpinnan "vaihteluvyöhykkeessä" (vesipinta +0,8 – +1,2) noin 800 – 1000 m³rtr. Rengasrouherakenteen huokoisuus on noin 40 %, joten pysyvästi rakenteessa on vettä noin 600 – 800 m³ ja vaihteluvyöhykkeessä noin 300 – 400 m³. Vesi todennäköisesti jonkin verran liikkuu rakenteessa myös pystysuunnassa lämpötilaerojen ja pitoisuusvaihteluiden takia, mutta oletettavaa on, että tason +0,8 alapuolinen vesi ei juuri pääse "vaihtumaan" ja rengasrouheesta liukenevien aineiden pitoisuudet kasvavat tällöin ainakin teoriassa ajan myötä.

Tulva-aikana rengasrouhetta huuhtelevaan veteen liukenee pieniä määriä haitta-aineita. "Huuhteluvesi" purkautuu takaisin jokeen, mutta heti jokeen päästessä haitta-ainepitoisuudet laimenevat merkityksettömän pieniksi.

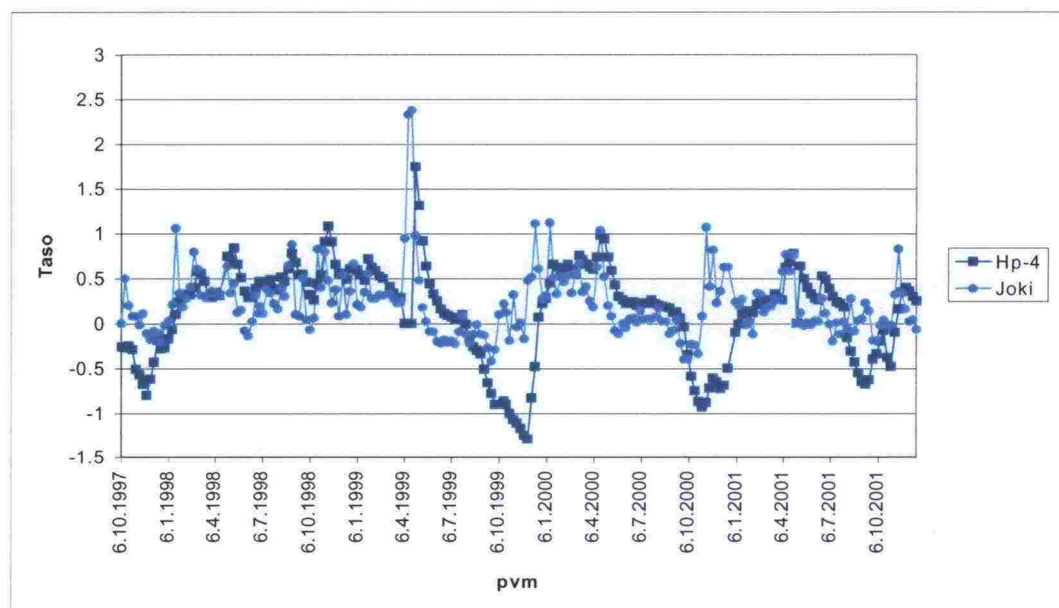
5.4 Pohjavesialueiden pohjavesipinnat

Koekohteen Sannaisten pohjavesialueen ja Bölen pohjavesialueen välillä on todennäköisesti olemassa hydraulinen yhteys. Yhteys on olemassa myös pohjavesialueiden ja Ilolanjoen välillä. Vesipinnan gradientin suuruus ja suunta vaihtelee, johon voivat olla syynä välillisesti virtausolosuhteiden muutokset Ilolanjoessa ja vedenottamon käyttöaikojen vaihtelut.



Kuva 7. Vesipintojen vaihtelu Bölen vedenottamoalueella havaintoputkessa no 4 ja koekohteella Sannaisten pohjavesialueella.

Porvoon vesilaitoksen mukaan Bölen pohjavesialueella on todettu olevan hydraulinen yhteys Ilolanjokeen). Pohjavesivarasto täydentyy Ilolanjoen vesipinnan noustessa (kuva 8).



Kuva 8. Vesipinnan vaihtelu Bölen vedenottamoalueella ja Ilolanjoen vesipinta ajan funktiona.

5.5 Lysimetrien vesinäytteet

Taulukossa 9 on esitetty kaikki lysimetrikaivosta analysoitujen vesinäytteiden tulokset.

Taulukko 9. Lysimetrikaivon vesinäyteanalyysitulokset

	Menetelmä	Yksikkö	11/97 – 1*	11/97 – 2*	5/98	10/98	5/99	10/99	2/00	05/00	01/01	Talousvedelle asetetut laatuvaatimukset [Sosiaali- ja terveysministeriön päätös N:o 74, v. 1994]	07/01	11/01	11/02	Talousvedelle asetetut laatuvaatimukset [Sosiaali- ja terveysministeriön päätös N:o 461, v. 2000]		
												terveydelliset	teknis-esteettiset				Laatuvaatimukset	Laatutavoitteet
Kromi, Cr	SFS 5074,550	mg/l	0,005	0,005	0,004	0,005	<0,002	<0,001	0,006	0,001	<0,001	0,05		<0,001	<0,001	<0,001	0,050	
Kupari, Cu	SFS 5074,550	mg/l	0,044	0,031	0,025	0,047	0,13	0,010	<0,002	0,003	0,039	--	1	0,010	0,003	0,002	2,0	
Sinkki, Zn	SFS 3044,304	mg/l	0,12	0,068	0,91	0,15	0,17	0,010	0,005	0,007	0,0443	--	3	0,018	0,007	0,020	--	--
Lyijy, Pb	SFS 5074,550	mg/l	<0,001	<0,001	0,005	0,004	<0,002	<0,001	<0,005	<0,0005	0,0018	0,01		<0,001	<0,0005	<0,0005	0,010	
Mangaani, Mn	SFS 5074,550	mg/l	1,2	1,2	4,7	3,7	1,7	2,2	0,003	0,008	5,6	--	0,05	4,4	2,7	2,0	--	0,050
Rauta, Fe	SFS 5074,550	mg/l	0,23	0,22	84	6,5	0,005	20	21	120	12,7	--	0,2	28	2,3	2,1	--	0,200
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	ISO/DIS 10304	mg/l	370	380	600	590	215	79	63	860	650	--	²⁾ 150	650	360	330	--	250
pH	SFS 3021	-	7,5	7,4	6,46	5,93	6,5	7,0	7,0	6,6	3,4	--	²⁾ 6,5-9,5	3,4	5,1	5,9	--	6,5-9,5
Sähkönjohtavuus	SFS 3022	mS/m	152	152	146	128	58	74	80	190	170	--	²⁾	160	87	90	--	250
Redox-potentiaali	DIN 38 404	mV	222	223	108	164	-	-114	77	-45	-	--	--	+445	W12	415	--	--
Kiintoaine	SFS-EN 872	mg/l							74					8	15	3		
PAH-yhdisteet (kokonaispitoisuus)	CH ₂ Cl ₂ -uutto, GC/MS	ng/l	174,2	184,6	98,6	207,2	200	804	815,19	299	379	³⁾ 200		65,2	200	104	⁵⁾ 100	
³⁾ ⁵⁾ PAH-yhdisteet	CH ₂ Cl ₂ -uutto, GC/MS	ng/l	11,2	10,1	5,6	8,3		72,87	n,d	n,d	16	200		n.d.	n.d.	n.d.	⁵⁾ 100	
⁴⁾ ⁵⁾ Benzo(a)pyreeni	CH ₂ Cl ₂ -uutto, GC/MS	µg/l	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002		<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	⁴⁾ 0,7		<0,003	<0,003	<0,003	⁵⁾ 0,010	

1) 11/97 otettiin keräyskaivosta kaksi näytettä

2) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: tavoite-arvot turvattaessa talousveden hyvä laatu: sulfaatti < 50, sähkönjohtavuus < 40, pH 7,0-8,8.

3) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, benzo(a)pyreenistä, indeno(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni

4) WHO Guideline (tulokset 1997-2000)

5) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 461/2000: benzo(b)fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, indaano(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni

n,d,: ei todettu

Veden metallipitoisuudet ovat olleet pieniä koko seurantajakson ajan. Veden sulfaattipitoisuus on korkealla tasolla lukuunottamatta lyhyttä jaksoa lokakuussa 1999 ja helmikuussa 2000. jolloin myös sähkönjohtavuus oli hieman alhaisemmalla tasolla. Vedestä tehty aistinvaraiset havainnot ja siihen liittyvät ajoittaiset alhaiset redoxpotentiaaliarvot viittaavat sen laadulliseen huononemiseen hapettomissa olosuhteissa.

Veden pH on vaihdellut koko seurannan aikana 3,4 ja 7,5 välillä. Kahden viimeisen vuoden ajan pH on vaihdellut välillä 3,4 – 5,9. Kaivon veden pH:n ja metalli- tai PAH -pitoisuuksien välillä ei ole selkeää yhteyttä. pH-arvot eivät välttämättä kuvaa orsiveden laatua, koska vesi keräyskaivoon on tullut todennäköisesti heti edellisen näytteenoton jälkeen, ja on ollut koko näytteenottojen välisen ajan kontaktissa kaivossa olevan ilman hiilidioksidin kanssa. Tämä on voinut vaikuttaa pH-arvoon alentavasti (karbonoituminen).

Mangaanin ja raudan pitoisuudet ovat vaihdelleet voimakkaasti. Mangaanin pitoisuus on vaihdellut välillä 0,003 – 5,6 mg/l. Rautapitoisuudessa on ollut hyvin voimakasta vaihtelua. Pienimmän ja suurimman pitoisuuden ero on noin 24 000 –kertainen. Raudan, mangaanin ja sulfaatin pitoisuusarvot ovat pääasiassa ylittäneet juomavedelle asetetut teknis-esteettiset arvot, lukuun ottamatta kahta lyhyttä jaksoa. Määritetyt arvoista ei olisi juomavedessä terveydellistä haittaa.

Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksiin (STM no 74/1994 vuoteen 2001 saakka, ja STM no 461/2000 vuodesta 2001) talousveden laatuvaatimuksista sisältyvien PAH -yhdisteiden pitoisuudet eivät ole ylittäneet laatutavoitteita. PAH -yhdisteiden kokonaispitoisuus lysimetrikaivon vedessä on vaihdellut välillä 65,4 – 815,19 ng/l. Suurimmat yli 200 ng/l olevat pitoisuudet ajoittuvat ajalle 2 – 4 vuotta rakentamisesta.

Tulosten perusteella rengasrouheesta liukenee jossain määrin rautaa, mangaania, sulfaatteja ja polyaromaattisia hiiliyhdisteitä. Pitoisuusvaihtelut raudan ja mangaanin osalta ovat suuria. Sulfaattien liukeneminen on ollut seurantajaksolla melko tasaista alusta alkaen. PAHien liukeneminen on nähtävissä alusta alkaen, ja ollut suurimmillaan 2 - 4 vuotta rakentamisesta.

5.6 Pohjavesinäytteet

Taulukossa 10 on esitetty pohjavesiputkesta paalulla 1060 otettujen vesinäytteiden analyysitulokset ja taulukossa 11 paalulla 1080 sijaitsevan pohjavesiputken tulokset.

Taulukko 10. Pohjavesiputken pl 1060 vesinäyteanalyysitulokset

Menetelmä	Yksikkö	8/97	1) 11/97-1	1) 11/97-2	5/98	10/98	5/99	10/99	2/00	Talousvedelle asetetut laatuvaatimukset		Pohjaveden laatu
			"0-näyte"							Terveelliset	Teknis-esteettiset	Raaka- vetenä
Kromi, Cr	SFS 5074,550	mg/l	0,003	0,006	0,003	0,003	0,004	<0,002	0,002	0,006	0,05	
Kupari, Cu	SFS 5074,550	mg/l	0,022	0,057	0,03	0,13	0,31	0,012	0,029	<0,002	--	1
Sinkki, Zn	SFS 3044,304	mg/l	0,08	0,44	0,22	0,61	0,31	0,30	0,014	0,003	--	3
Lyijy, Pb	SFS 5074,550	mg/l	0,084	0,058	0,031	0,021	0,021	0,003	<0,001	<0,005	0,01	Sopimaton jos > 50 µg
Mangaani, Mn	SFS 5074,550	mg/l	0,044	0,33	0,71	0,91	1,1	0,018	0,81	0,93	--	0,05
Rauta, Fe	SFS 5074,550	mg/l	1,4	2,2	2,2	2,4	2,7	0,41	<0,25	0,029	--	0,2
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	ISO/DIS 10304	mg/l	26,9	22	17	20	1,1	15,7	8,0	<1	--	2) 150
pH	SFS 3021	-	7,06	7,29	7,32	7,55	7,7	6,6	7,2	7,5	--	2) 6,5-9,5
Sähkönjohtavuus	SFS 3022	mS/m	23,4	72,7	160	210	267	16	170	226	--	2) Huono >30, < 50 mS/m
Redox-potentiaali	DIN 38 404	mV	310	280	174	333	257	-	-59	56	--	-- Huono < 200 mV
PAH-yhdisteet	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l	56,5	186,5	71,2	19,4	47,7	<50	582	289,45	3) (200)	
3) 5) PAH-yhdisteet	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l	20,3	12,1	11,7	2,4	4,6		55,02	10,26	200	
4) 5) Benzo(a)pyreeni	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l									4) 700	

1) 11/97 otettiin keräyskaivosta kaksi näytettä

2) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: tavoite-arvot turvattaessa talousveden hyvä laatu: sulfaatti < 50, sähkönjohtavuus < 40, pH 7,0-8,8.

3) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, benzo(a)pyreenistä, indeno(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni

4) WHO Guideline (tulokset 1997-2000)

5) Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 461/2000: benzo(b)fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, indaano(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni

n.d.: ei todettu

Taulukko 11. Pohjavesiputken pl 1080 vesinäyteanalyysitulokset 2000-2002 ja jokiveden laatu 2001-2002.

	Menetelmä	yks.	2/00	05/00	Talousvedelle asetetut laatuvaatimukset [Sosiaali- ja terveysministeriön päätös N:o 74, v. 1994]		07/01	11/01	11/02	11/01 Jokivesi PI 1060 (26.11.01)	11/01 ⁶⁾ Jokivesi Piste xxxx (27.11.01)	11/02 Jokivesi PI 1060 (4.11.02)	Talousvedelle asetetut laatuvaatimukset [Sosiaali- ja terveysministeriön päätös N:o 461, v. 2000]	
					Terveystieteelliset tai laatuvaatimukset	Teknisteettiset/laatusuosituks							Laatuvaatimukset	Laatutavoitteet
Kromi, Cr	SFS 5074,550	mg/l	<0,002	0,003	0,05		0,004	0,002	<0,001	0,001	-	<0,001	0,050	
Kupari, Cu	SFS 5074,550	mg/l	0,003	0,002	--	1	0,001	0,001	0,001	0,005	-	0,003	2,0	
Sinkki, Zn	SFS 3044,304	mg/l	0,003	0,004	--	3	0,002	0,002	0,003	0,008	-	0,003	--	--
Lyijy, Pb	SFS 5074,550	mg/l	0,010	<0,0005	0,01		<0,0005	<0,0005	<0,005	<0,0005	-	<0,0005	0,010	
Mangaani, Mn	SFS 5074,550	mg/l	0,08	0,57	--	0,05	0,28	0,19	0,24	0,12	-	0,046	--	0,050
Rauta, Fe	SFS 5074,550	mg/l	0,006	0,17	--	0,2	0,15	0,053	0,37	0,37	-	1,1	--	0,200
Sulfaatti, SO ₄ ²⁻	ISO/DIS 10304	mg/l	48	31	--	²⁾ 150	23	18	18	28	-	27	--	250
pH	SFS 3021	-	7,6	7,2	--	²⁾ 6,5-9,5	7,3	7,1	7,5	6,9	-	7,4	--	6,5-9,5
Sähkönjohtavuus	SFS 3022	mS/m	48	81	--	²⁾	73	60	84	16	-	30	--	250
Redox-potentiaali	DIN 38 404	mV	-28	+4	--	--	-39	W19	196	W17	-	428	--	--
PAH-yhdisteet	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l	246,98	123,26	³⁾ (200)		23,2	32	112	180	11	58	⁵⁾ (100)	
^{3) 5)} PAH-yhdisteet	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l	9,18	15,56	³⁾ 200		n.d., <40	n.d., <40	n.d., <40	n.d., <40	n.d., <40	n.d., <40	⁵⁾ 100	
^{4) 5)} Benzo(a)pyreeni	CH2Cl2-uutto, GC/MS	ng/l			⁴⁾ 700		n.d., <3,0	n.d., <3,0	n.d., <3,0	4,6	n.d., <10	4,8	⁵⁾ 10	

²⁾ Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: tavoite-arvot turvattaessa talousveden hyvä laatu: sulfaatti < 50, sähkönjohtavuus < 40, pH 7,0-8,8.

³⁾ Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 74/1994: fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, benzo(a)pyreenistä, indeno(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni

⁴⁾ WHO Guideline (tulokset 1997-2000)

⁵⁾ Sosiaali- ja terveysministeriön päätös no 461/2000: benzo(b)fluoranteeni, benzo(k)fluoranteeni, indaano(123-cd)pyreeni ja benzo(ghi)peryleeni. Benzo(a)pyreenille asetettu laatuvaatimus 0,010 µg/l.

⁶⁾ jokivesi, analyysin tehnyt Paavo Ristola Oy

n.d. = ei todettu, W = analyysin tulos epävarma

Pohjavedessä on ollut alun perin mitattavissa normaalia korkeammat pitoisuudet kuparia, lyijyä, rautaa, mangaaneja ja polyaromaattisia hiilivetyjä.

Lyijyn määrä pohjavedessä on selkeästi vähentynyt kokeen alussa saatuihin arvoihin verrattuna. Vuoden 1999 tuloksissa veden lyijypitoisuus täyttää talousvedelle asetetut terveydelliset laatuvaatimukset. Pohjaveden lyijypitoisuus johtunee läheisestä vt 7 liikenteestä ja on mahdollista, että lyijypitoisuus on laskenut lyijyllisten polttoaineiden vähentymisen takia.

Rautaa on pohjavedessä havaittu melko runsaasti jo ennen rakentamista, ja pitoisuus kasvoi kaksinkertaiseksi lokakuuhun 1998 mennessä. Tämän jälkeen rautapitoisuus on selvästi ollut pienempi.

Mangaanin pitoisuus on alussa ennen rakentamista ollut vain hieman alle juomavedelle asetetun teknis-esteettisen laatuavoitteen, mutta on siitä huomattavasti noussut kokeen aikana. Huuhtelujen ja uuden pohjavesiputken asentamisen jälkeen pitoisuus on aina ollut hieman pienempi. On mahdollista, että mangaania kertyy pienessä määrin pohjavesiputken pinnalle ja pohjavesiputken huuhtelu aina kaksi viikkoa ennen näytteenottoa antaisi oikeellisemman tuloksen pohjaveden mangaanipitoisuudesta.

Veden sähkönjohtavuus on ollut rakentamisen jälkeen koko ajan huuhtelun jälkeistä tulosta lukuun ottamatta varsin korkea ja veden laatu tältäkin osin on huono.

Vesi on ollut yleensä harmahtavaa, hieman sameaa tai kirkasta, ja hajutonta. Redox-potentiaali on ollut seurantajakson alussa korkea, samoin viimeisimmässä näytteenotossa. Syksyllä 1999 näytteessä todettiin rikkiyhdisteiden hajua. Alhainen redox-potentiaali ja veden aistinvaraiset havainnot viittasivat siihen, että vesi on seissyt putkessa hapettomassa olotilassa. Pohjaveden pinta on tällöin myös varsin alhaalla verrattuna aikaisempiin näytteenottokertoihin mikä viittaa aikaisempaa vähäisempään pohjaveden muodostumiseen ja virtaukseen näytteenottoa edeltävinä aikoina.

Pohjavedessä havaittiin PAH -yhdisteitä ennen rakentamista. Myös talousvesiasetusten tarkoittamia PAH -yhdisteitä on ollut vuosina 1997-2000 pitoisuuksien vaihdellessa välillä 2,4-55 ng/l. PAH-pitoisuuksien kokonaispitoisuus on ollut selvästi kohonnut vuosina 1999-2000. Vuoden 2001 näytteenotoissa PAHien kokonaispitoisuudet olivat pienempiä. Vuoden 2002 näytteenotossa marraskuussa pitoisuus ylitti jälleen 100 µg/l.

Teoriassa ja käytännössä rengasrouheesta liukenevat aineet eivät pääse 10 – 26 metrin paksuisen savikerroksen läpi varsinaiseen pohjaveteen, katso kuivatustarkastelu kohdassa 5.3.

5.7 Vesinäytteet Ilolanjoesta

Marraskuussa 2001 ja 2002 otettiin vesinäytteet myös Ilolanjoesta. Näytepiste sijaitsee joessa paalulla 1060 sijaitsevasta pohjavesiputkesta kohtisuoraan. Piste on hieman ylävirtaan laskuojasta, joka lähtee koekohteen paalulla 1160 sijaitsevan rummun kohdalta. Näytteet on otettu noin 30 cm syvyydeltä. Näytteiden perusteella vedessä on kohonneita pitoisuuksia PAH -yhdisteitä ja myös bentso(a)pyreeniä. Veden kuparipitoisuus poikkeaa myös normaalista (vrt. Suomen geokemian Atlas, osa 3. Purovedet ja sedimentit). Sinkkipitoisuus on hieman kohonnut mutta tavanomainen. Mangaanin ja raudan pitoisuudet ovat koholla.

5.8 Rengasrouheen laskennallinen kuormitus Ilolanjokeen

Tulva-aikana rengasrouhetta huuhtelevaan veteen liukenee pieniä määriä haitta-aineita. "Huuhte-luvesi" purkautuu takaisin jokeen, mutta heti jokeen päästessä haitta-ainepitoisuudet laimenevat merkityksettömän pieniksi. Rengasrouherakenteen vaikutusta pitoisuuksiin voidaan karkeasti las-kea vuositasolla, hetkellistä vaikutusta ei tässä ole tarpeen tarkastella.

Sademäärä tien pinnalle: $350 \text{ m} * 6 \text{ m} * 0,65 \text{ m} = 1365 \text{ m}^3$

Oletetaan, että pientareen ja luiskatäytteen läpi imeytyy sadannasta 30 % rengasrouheeseen
 $= 410 \text{ m}^3$

Oletetaan, että veden haitta-ainepitoisuudet ovat vastaavat kuin lysimetrien vesinäytetulokset ja rengasrouhekerrosta vuoden aikana huuhdellut 410 m^3 vettä päätyy Ilolanjokeen:

Mn $1.2...5.6 \text{ mg/l} * 410 * 1000 \text{ l} = 500 ... 2300 \text{ g}$

Fe $2 ... 120 \text{ mg/l} * 410 * 1000 \text{ l} = 800 ... 50000 \text{ g}$

Sulfaatti $60...860 \text{ mg/l} * 410 * 1000 \text{ l} = 25000 ... 350000 \text{ g}$

PAH $80...815 \text{ ng/l} * 410 * 1000 \text{ l} = 33 ... 340 \text{ mg}$

Ilolanjoen MQ = $2.6 \text{ m}^3/\text{s} \rightarrow 8.2 * 10^{10} \text{ l/a}$

Rengasrouheen aiheuttama pitoisuuden lisäys Ilolanjoessa:

Mn $6...30 * 10^{-6} \text{ mg/l}$

Fe $1...60 * 10^{-5} \text{ mg/l}$

Sulfaatti $3...14 * 10^{-4} \text{ mg/l}$

PAH-yhdisteet $4...40 * 10^{-4} \text{ ng/l}$

5.9 Yhteenvedo pohjavesialueen muista tutkimuksista 2001-2002

Porvoon kaupungin vesilaitos ja Tieliikelaitos ovat tehneet alustavia hieman laajempia tutkimuksia pohjavesialueilla pohjavedestä löytyneiden kohonneiden PAH -pitoisuuksien selvittämiseksi.

Tieliikelaitos teki alustavia tutkimuksia pohjavesialueen laadusta välittömästi koekohteen pohjois- ja eteläpuolella olevista pohjavesiputkista. Pohjavesialueen pohjoispuolella on kolme Porvoon kaupungin vesilaitoksen havaintoputkea HP3, HP4 ja HP23, sekä eteläpuolella yksi havaintoputki HP515, jotka tyhjennettiin näytteenottoa varten joulukuussa 2000. Kaikissa putkissa havaittiin tyhjennysvaiheessa mustaa sakkaa ja mustaa vettä. Sakka oli kertynyt putkiin pitemmän ajan kulues-sa muodostuman pintakerroksista. Veden antoisuus putkissa oli kuitenkin hyvä. Sakasta ja vedestä lähetettiin näytteet laboratorioon, sakassa havaittiin mineraaliöljyjä ja PAH -yhdisteitä. Vedestä analysoitiin yhdestä näytteestä PAH -yhdisteitä, ja niitä löytyi 517,19 ng/l.

Porvoon kaupunki teetti pohjavesialueesta tutkimuksen 27.11.2001, jossa näytteenotto oli rajoitettu samoihin pohjavesiputkiin. Myös tällöin, ennen vesinäytteenottoa, pumppauksen alussa vesi on ollut mustaa ja sameaa. Varsinaisissa näytteissä noin 30 min pumppauksen jälkeen ei havaittu mineraaliöljyjä. PAH -yhdisteiden kokonaispitoisuus kaikissa näytteissä oli $0,01 \mu\text{g/l}$ eli 10-11 ng/l. Pohjavesiputkien siiviläosien yläpää oli kahdessa havaintoputkista (HP4 ja HP515) noin 0,5-1,5 metriä näytteenottohetkellä mitatun pohjavesipinnan alapuolella. Öljy-yhdisteet havaitaan parhaiten pohjavesiputkista joiden siiviläosien yläpää tavoittaa pohjavesipinnan. Yhdestä havaintoputkesta ei ole saatavilla tietoa siivilän asennustasosta. Ilolanjoesta läheltä koekohdetta, todennäköisesti paa-lulla 1160 olevan rummun kautta kulkevan laskuojan läheisyydestä otetussa vesinäytteessä, ha-vaittiin lähellä määritysrajaa $0,01 \mu\text{g/l}$ oleva pitoisuus PAH -yhdisteitä.

5.10 Arvio rengasrouheen ympäristökelpoisuudesta

Lysimetrien keräyskaivosta otettujen vesinäytteiden haitta-ainepitoisuudet kuvaavat rengasrouhekerroksessa olevan orsiveden laatua. Rengasrouhekerroksesta osa on jatkuvasti orsivedessä ja orsivesi liuottaa jatkuvasti haitta-aineita. Orsiveden, sadevesien ja pintavesien määrällä on vaikutusta tavattuihin PAH-yhdisteiden, raudan ja mangaanin pitoisuuksiin. Analyysitulosten perusteella näyttäisi siltä, että sulfaattien pitoisuudet ovat tasaisia. 5-6 vuotta rakentamisen jälkeen raudan, mangaanin ja PAHien pitoisuudet ovat olleet pienempiä verrattuna 2 – 4 vuotta rakentamisen jälkeen tavattuihin huippupitoisuuksiin. Orsivesipinnan yläpuolisesta rengasrouheesta liukenemista tulee vielä tapahtumaan sadevesien ja pintavesien virratessa tierakenteen läpi, mutta todennäköisesti ainakin jatkuvasti orsivesikerroksessa olevasta rengasrouheesta liukenevat PAH -yhdistemäärät ovat laskemassa.

Orsiveden pinta ei vaihtelee kovin paljoa, ainoastaan rankimpien sateiden yhteydessä pintavedet ja tulvavedet voivat nostaa vedenpintaa ja täten veden liuottava vaikutus veden liikkeestä johtuen kasvaa. Toisaalta suurempi vesimäärä voi laimentaa pitoisuuksia. Suurimman osan ajasta orsivesi todennäköisesti on varsin liikkumattomassa tilassa.

Orsiveden pinnan noustessa vesi purkautuu sivuoja pitkin koekohteen paalulle 1160, ja edelleen laskuojaa pitkin Ilolanjokeen. Ilolanjokeen laskuojaa myöten laskevan veden pitoisuudet ovat erittäin pienet, koska sadevedestä suurin osa valuu pintavaluntana päällysteeltä sivuihin laimentaen rengasrouheen kanssa kosketuksissa olleen veden haitta-ainepitoisuudet.

Raudan, mangaanin, sulfaatin ja PAH -yhdisteiden pitoisuudet sekä veden sähkönjohtavuus ylittävät talousvedelle asetet vaatimukset. Orsivesi ei ole yhteydessä pohjavesimuodostumaan eikä orsiveden laatu vaikuta pohjavesimuodostuman laatuun koekohteen alueella.

Ilolanjoen vedessä havaittiin molemmilla näytteenottokerroilla PAH -yhdisteitä ja bentso(a)pyreeniä. Joen vesi on hydraulisesti yhteydessä pohjavesialueisiin, ja todennäköisesti huonontaa näiden laatua ko. yhdisteiden suhteen. Pohjavesialueilla tehtyjen tutkimusten perusteella ei vielä kuitenkaan ole täysin selvää, mistä kohonneet pitoisuudet pohjavesialueella johtuvat. Myös vedenottamalla on esiintynyt yhden näytteenoton yhteydessä PAH -yhdistettä.

6 PÄÄTELMÄT JA EHDOTUS JATKOSEURANNASTA

Kantavuuden kasvu pysähtyi hetkellisesti vuoden 1999 jälkeen vuoden 2000 mittauksen perusteella. Vuonna 2002 kantavuus sen sijaan on parantanut huomattavasti ja on jo noin 100 % suurempi kuin heti koerakenteen valmistuttua. Parantunut kantavuus johtuu todennäköisesti PAB-päällysteen jäykkyyden lisääntymisestä ja rengasrouheen tiivistymisestä johtuvasta E-moduulin parantumisesta. Vuoden 2002 kantavuusmittausten korkeisiin arvoihin on voinut vaikuttaa mittaushetken matala lämpötila, mikä on voinut lisätä huomattavasti päällysteen jäykkyyttä.

Tien painuminen on ollut aavistuksen ennakoitua suurempaa, mutta hyvin painumalaskelmien tarkkuuden ja mittaustarkkuuden normaaleissa vaihtelurajoissa.

Teknisesti tie on toiminut suunnitellulla tavalla, kantavuuden suhteen jopa suunniteltua paremmalla tavalla. Jatkomittauksia voidaan harventaa v.1998-2000 mittausiheydestä.

Rengasrouherakenteeseen asennettujen lysimetrien keräilykaivosta mitattuna orsiveden rauta - ja mangaanipitoisuudet sekä PAH -yhdisteiden pitoisuudet ovat hieman laskeneet 2-4 vuotta rakentamisen jälkeen tavatuista huippupitoisuuksista. Rengasrouherakenteen kanssa yhteydessä oleva orsivesi ei ole yhteydessä pohjavesimuodostumaan eikä orsiveden laadun täten pitäisi vaikuttaa pohjavesimuodostuman laatuun koekohteen alueella. Rengasrouherakenteesta huuhtoutuu vettä laskuojan kautta Ilolanjokeen tulvien aikana. Laskennallinen kuormitus Ilolanjokeen on erittäin pie-

ni. Joessa esiintyvät taustapitoisuudet ylittävät rengasrouherakenteesta aiheutuvan laskennallisen kuormituksen.

Pohjaveden laadussa olleiden häiriöiden vuoksi ja vuoden 2000-2002 lisätutkimusten tulosten perusteella kahdella pohjavesialueella olisi syytä ryhtyä laajempiin tutkimuksiin ja pilaantumislähteiden kartoitukseen kunnan, vesilaitoksen ja muiden toimijoiden toimesta. Pilaantumisen selvitystyö ehdotetaan suoritettavaksi rengasrouherakenteen ympäristöseurannasta erillisenä tarkasteluna, jossa toimittaisiin kuitenkin yhteistyössä mm. näytteenoton ohjelmoinnin suhteen.

Ehdotus jatkoseurannaksi vuodelle 2003 on esitetty taulukossa 12. Tien painumisen seurannassa jatketaan vuonna 2003 painumavaaituksin ja kantavuusmittauksin; potentiometrejä ei mitata. Ympäristöseurantaa jatketaan touko- ja lokakuussa tehtävin näytteenotoin lysimetrikaivosta ja pohjavesiputkesta. Taustapitoisuusnäyte otetaan Ilola-joesta.

Painumavaaitukset ja kantavuusmittaukset ehdotetaan tehtäväksi myös vuonna 2004 kesällä ja sen jälkeen joka toinen vuosi eli ainakin vuosina 2006 ja 2008. Potentiometrejä ei suositella enää mitattavaksi. Ympäristönäytteenottoa jatketaan toistaiseksi nykyisellä ohjelmalla ja vuosittain tehtävien päätösten mukaisesti.

Taulukko 12. Seurantamittaukset vuonna 2003.

SEURANTAMITTAUS	tammi	helmi	maalis	huhti	touko	kesä	heinä	elo	syys	loka	marras	joulu
Painumavaaitus						X						
Kantavuusmittaukset						X						
Ympäristövaikutukset												
Vesinäytteet: kaivo+uusi pvpputki+Ilolanjoki					X					X		

Paalu	2.10.1997 korkeus [m]	14.10.1997 korkeus [m]	ero [mm]	6.11.1997 korkeus [m]	ero [mm]	14.1.1998 korkeus [m]	ero [mm]	18.4.1998 korkeus [m]	ero [mm]	1.8.1998 korkeus [m]	ero [mm]	1.10.1998 korkeus [m]	ero [mm]	7.4.1999 korkeus [m]	ero [mm]	4.8.1999 korkeus [m]	ero [mm]	1.12.1999 korkeus [m]	ero [mm]	vko 21/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 31/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 49/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 47/2001 korkeus [m]	ero [mm]
930		3.050 3.205 3.348		3.060 3.187 3.338	10.1 -18.4 -9.4	3.053 3.201 3.335	3.2 -4.5 -12.7	3.038 3.180 3.328	-11.4 -25.3 -19.5	3.040 3.182 3.326	-9.6 -22.8 -21.3	3.034 3.179 3.324	-15.7 -26.5 -23.2	3.033 3.164 3.322	-16.3 -40.7 -26.0	3.028 3.171 3.320	-21.4 -33.6 -27.5	3.015 3.151 3.306	-34.8 -54.5 -41.5	3.009 3.148 3.301	-40.3 -56.8 -46.5	3.009 3.141 3.302	-41.1 -63.9 -45.8	2.996 3.138 3.291	-54.1 -66.7 -57.0	2.990 3.129 3.294	-59.4 -76.2 -53.2
940	2.939 3.088 3.202	2.935 3.083 3.197	-3.9 -4.8 -4.2	2.937 3.086 3.202	-2.1 -1.8 0.0	2.938 3.087 3.202	-0.5 -1.3 0.2	2.925 3.073 3.189	-14.3 -15.2 -12.2	2.922 3.071 3.189	-16.7 -16.7 -12.2	2.902 3.067 3.186	-36.9 -21.6 -15.4	2.915 3.063 3.181	-23.7 -25.2 -20.1	2.908 3.057 3.178	-30.7 -31.2 -23.2	2.895 3.043 3.165	-44.0 -45.0 -36.9	2.890 3.039 3.161	-49.0 -49.6 -40.6	2.887 3.037 3.160	-51.5 -51.5 -42.0	2.876 3.024 3.148	-62.6 -64.5 -53.1	2.863 3.013 3.140	-76.2 -74.9 -61.2
950		2.858 3.008 3.122		2.862 3.001 3.124	3.7 -7.2 2.4	2.860 3.009 3.124	1.2 1.5 2.4	2.847 2.987 3.117	-11.2 -20.8 -4.6	2.843 2.990 3.113	-15.2 -18.0 -9.1	2.826 2.990 3.112	-32.1 -17.5 -9.5	2.831 2.978 3.108	-27.7 -30.1 -14.0	2.824 2.976 3.106	-34.7 -32.1 -16.4	2.805 2.963 3.093	-53.7 -46.8 -28.8	2.802 2.963 3.089	-56.0 -44.5 -33.3	2.802 2.956 3.088	-56.7 -51.6 -34.3	2.792 2.946 3.077	-66.8 -61.8 -45.2	2.802 2.939 3.066	-56.8 -68.4 -56.2
960	2.797 2.930 3.034	2.794 2.927 3.031	-3.3 -3.3 -3.1	2.797 2.929 3.035	0.0 -1.2 0.8	2.799 2.933 3.035	1.5 3.2 1.2	2.786 2.919 3.026	-11.4 -11.5 -8.5	2.784 2.919 3.025	-13.6 -11.1 -9.3	2.768 2.914 3.021	-29.0 -16.5 -12.7	2.777 2.912 3.018	-20.5 -17.8 -16.0	2.760 2.905 3.014	-37.6 -24.8 -19.8	2.756 2.894 3.002	-41.1 -38.4 -32.0	2.756 2.890 3.002	-41.0 -39.8 -32.3	2.749 2.888 2.999	-47.8 -41.8 -34.9	2.741 2.878 2.989	-56.3 -52.4 -45.4	2.738 2.868 2.980	-59.5 -62.2 -54.0
970		2.724 2.848 2.851		2.729 2.846 2.848	5.5 -1.6 -3.1	2.730 2.846 2.843	5.7 -1.7 -7.5	2.711 2.829 2.830	-13.3 -18.3 -20.9	2.710 2.822 2.826	-14.0 -25.5 -24.7	2.703 2.821 2.821	-20.5 -26.8 -29.6	2.697 2.810 2.812	-27.3 -37.7 -38.3	2.690 2.807 2.808	-34.3 -40.5 -42.2	2.676 2.791 2.794	-48.1 -58.4 -56.5	2.670 2.789 2.789	-53.7 -58.2 -61.4	2.667 2.786 2.787	-56.9 -61.7 -63.4	2.655 2.775 2.776	-69.0 -72.9 -74.5	2.657 2.765 2.773	-67.0 -82.6 -77.8
980	2.692 2.780 2.736	2.687 2.754 2.734	-4.7 -5.2 -2.7	2.691 2.754 2.735	-1.1 -5.6 -0.9	2.689 2.751 2.732	-3.0 -9.0 -4.6	2.674 2.737 2.721	-17.3 -22.1 -15.3	2.671 2.736 2.718	-20.8 -23.3 -18.7	2.666 2.729 2.712	-25.3 -30.5 -23.9	2.659 2.721 2.704	-32.2 -38.5 -32.1	2.652 2.720 2.702	-40.0 -39.7 -34.2	2.641 2.706 2.689	-50.7 -53.3 -47.1	2.634 2.701 2.685	-57.9 -58.6 -50.8	2.634 2.700 2.685	-58.1 -59.4 -51.4	2.619 2.687 2.674	-72.4 -72.8 -62.5	2.616 2.677 2.664	-75.7 -82.6 -72.0
990		2.584 2.697 2.643		2.592 2.698 2.644	8.1 0.3 0.7	2.591 2.696 2.641	6.5 -1.9 -2.4	2.576 2.680 2.629	-8.5 -17.5 -14.3	2.574 2.681 2.628	-9.9 -16.5 -15.4	2.569 2.675 2.622	-22.5 -22.8 -21.1	2.562 2.662 2.617	-22.5 -35.7 -26.5	2.556 2.664 2.613	-27.8 -33.2 -30.1	2.542 2.652 2.601	-42.6 -45.8 -42.4	2.537 2.647 2.599	-47.0 -50.7 -44.3	2.535 2.646 2.599	-48.7 -51.5 -44.3	2.521 2.634 2.587	-63.3 -63.4 -56.0	2.512 2.624 2.579	-72.4 -73.9 -64.0
1000		2.521 2.652 2.562		2.526 2.655 2.572	5.0 3.2 9.8	2.524 2.653 2.568	2.2 0.4 5.9	2.508 2.639 2.555	-13.3 -13.3 -6.8	2.509 2.637 2.553	-12.7 -15.6 -8.7	2.500 2.629 2.547	-21.3 -23.6 -14.4	2.493 2.621 2.542	-28.2 -31.4 -19.5	2.488 2.618 2.537	-33.0 -33.8 -24.5	2.473 2.606 2.526	-48.6 -46.1 -35.8	2.467 2.603 2.522	-54.2 -49.6 -40.0	2.464 2.602 2.522	-56.9 -50.6 -40.1	2.449 2.586 2.510	-72.5 -65.8 -51.8	2.445 2.575 2.508	-76.7 -77.4 -53.4
1010		2.473 2.593 2.508		2.479 2.594 2.512	6.1 1.9 4.5	2.472 2.592 2.506	-1.4 -0.3 -1.4	2.456 2.577 2.495	-17.2 -15.2 -12.4	2.457 2.574 2.492	-16.0 -19.0 -16.2	2.443 2.565 2.487	-30.4 -27.4 -21.2	2.436 2.556 2.477	-36.8 -36.3 -30.8	2.429 2.554 2.474	-43.9 -38.8 -33.5	2.415 2.542 2.462	-57.9 -50.5 -45.4	2.408 2.535 2.458	-64.9 -58.0 -49.6	2.407 2.535 2.460	-66.4 -57.1 -47.7	2.390 2.520 2.447	-83.0 -73.0 -61.0	2.382 2.507 2.451	-91.4 -85.5 -57.1
1020	2.455 2.564 2.464	2.448 2.558 2.459	-6.9 -6.5 -5.4	2.451 2.557 2.460	-4.3 -7.2 -4.1	2.443 2.552 2.455	-11.8 -12.7 -9.6	2.429 2.537 2.444	-26.6 -27.1 -20.6	2.424 2.533 2.437	-31.6 -31.3 -27.2	2.416 2.525 2.429	-39.6 -39.8 -34.9	2.407 2.515 2.424	-48.4 -49.5 -40.7	2.402 2.514 2.421	-53.6 -50.7 -43.6	2.389 2.501 2.409	-66.5 -63.6 -55.4	2.381 2.494 2.405	-74.1 -70.8 -59.4	2.381 2.495 2.405	-74.3 -69.8 -59.3	2.363 2.478 2.391	-92.0 -86.9 -73.5	2.353 2.468 2.400	-102.4 -96.2 -64.0
1030		2.443 2.517 2.416		2.443 2.517 2.422	0.3 -0.1 5.8	2.434 2.511 2.416	-8.9 -5.9 -0.7	2.419 2.497 2.405	-23.8 -19.9 -11.4	2.416 2.491 2.399	-26.3 -25.5 -17.1	2.407 2.482 2.390	-35.8 -35.1 -26.5	2.397 2.473 2.381	-45.4 -44.0 -35.3	2.392 2.472 2.379	-50.1 -45.0 -37.3	2.377 2.458 2.367	-65.4 -59.4 -49.3	2.370 2.452 2.363	-72.3 -65.2 -53.0	2.370 2.454 2.365	-72.1 -63.3 -51.8	2.353 2.434 2.349	-90.0 -83.1 -66.8	2.343 2.424 2.359	-100.6 -92.5 -57.0
1040		2.444 2.494 2.386		2.445 2.497 2.386	1.3 2.5 0.5	2.438 2.494 2.372	-7.6 0.0 -13.5	2.420 2.478 2.367	-24.2 -15.7 -19.2	2.417 2.469 2.363	-27.2 -25.5 -25.4	2.405 2.459 2.353	-38.7 -35.0 -32.6	2.396 2.451 2.343	-48.4 -42.7 -43.1	2.391 2.450 2.341	-52.6 -43.8 -44.7	2.376 2.436 2.326	-68.2 -58.1 -59.4	2.370 2.429 2.323	-73.9 -64.8 -62.7	2.371 2.431 2.324	-73.2 -63.4 -62.2	2.353 2.410 2.309	-91.0 -84.0 -77.0	2.340 2.403 2.320	-103.6 -90.6 -65.5
1050		2.457 2.507 2.377		2.458 2.509 2.375	1.1 1.4 -2.4	2.448 2.509 2.364	-8.3 1.2 -13.6	2.433 2.488 2.355	-23.4 -19.4 -21.8	2.428 2.477 2.348	-28.4 -30.2 -29.7	2.416 2.466 2.340	-40.6 -41.1 -37.7	2.406 2.456 2.323	-50.4 -51.6 -54.1	2.401 2.456 2.324	-55.5 -51.6 -53.5	2.384 2.439 2.308	-73.0 -68.0 -69.4	2.377 2.432 2.303	-79.3 -75.1 -74.3	2.379 2.435 2.307	-77.5 -72.4 -70.0	2.360 2.417 2.289	-96.8 -89.9 -87.9	2.345 2.402 2.294	-111.3 -105.6 -83.5
1060	2.507 2.520 2.375	2.497 2.509 2.366	-10.4 -10.3 -8.4	2.496 2.508 2.365	-11.3 -11.7 -9.8	2.485 2.501 2.356	-22.6 -18.5 -18.6	2.469 2.481 2.345	-37.7 -38.6 -30.1	2.460 2.476 2.336	-47.0 -43.4 -38.4	2.446 2.464 2.325	-60.7 -55.3 -49.5	2.436 2.451 2.315	-71.4 -68.7 -59.7	2.431 2.452 2.315	-75.9 -67.9 -59.5	2.413 2.434 2.308	-94.5 -85.7 -66.6	2.404 2.427 2.295	-103.1 -93.0 -79.7	2.405 2.428 2.296	-101.8 -91.6 -78.9	2.385 2.407 2.278	-122.5 -112.6 -96.6	2.369 2.394 2.275	-138.0 -125.1 -99.2
1070		2.530 2.518 2.373		2.527 2.515 2.366	-3.3 -3.5 -7.3	2.515 2.504 2.349	-15.9 -14.3 -24.5	2.498 2.486 2.341	-32.3 -31.8 -32.7	2.487 2.473 2.332	-43.7 -44.8 -41.5	2.472 2.457 2.323	-58.5 -61.2 -50.0	2.460 2.448 2.306	-70.5 -70.1 -66.9	2.454 2.443 2.304	-76.6 -75.6 -69.7	2.434 2.425 2.286	-96.9 -92.7 -87.8	2.424 2.412 2.278	-106.7 -109.4 -95.1	2.423 2.410 2.277	-107.8 -108.1 -96.1	2.402 2.393 2.262	-128.5 -124.7 -111.6	2.381 2.371 2.254	-149.6 -148.8 -119.7
1080		2.544 2.520 2.369		2.538 2.511 2.369	-5.6 -9.0 -0.7	2.524 2.500 2.348	-19.4 -20.0 -21.0	2.507 2.487 2.341	-36.8 -33.6 -28.1	2.492 2.474 2.331	-51.7 -46.8 -38.4	2.479 2.458 2.319	-64.4 -62.2 -50.2	2.463 2.444 2.302	-80.5 -76.8 -67.1	2.458 2.441 2.300	-85.5 -79.8 -69.0	2.438 2.424 2.281	-106.0 -96.7 -88.8	2.427 2.409 2.273	-116.1 -111.8 -96.8	2.426 2.409 2.272	-117.5 -111.2 -97.8	2.405 2.390 2.257	-136.0 -130.4 -112.4	2.389 2.365 2.247	-154.2 -155.4 -122.3
1090		2.557 2.503 2.360		2.550 2.496 2.358	-7.0 -6.4 -2.3	2.538 2.486 2.352	-18.7 -16.7 -8.3	2.520 2.469 2.332	-36.9 -33.6 -28.5	2.506 2.463 2.325	-51.3 -39.5 -35.2	2.488 2.453 2.318	-68.4 -50.3 -42.7	2.479 2.435 2.301	-77.5 -68.0 -59.1	2.474 2.434 2.300	-82.5 -68.7 -60.6	2.455 2.417 2.285	-102.2 -85.7 -75.3	2.443 2.408 2.279	-113.4 -95.1 -81.4	2.444 2.408 2.280	-113.2 -95.1 -80.7	2.424 2.391 2.265	-132.8 -111.9 -95.1	2.410 2.367 2.258	-146.4 -136.3 -102.5
1100	2.586 2.502 2.353	2.576 2.492 2.342	-9.7 -9.9 -10.7	2.571 2.484 2.338	-15.2 -17.3 -14.6	2.559 2.477 2.330	-27.4 -24.8 -22.5	2.544 2.460 2.314	-41.7 -41.4 -38.7	2.531 2.456 2.307	-54.6 -45.5 -45.7	2.520 2.445 2.297	-65.5 -57.0 -56.1	2.508 2.432 2.286	-78.4 -69.5 -66.9	2.505 2.433 2.283	-80.9 -68.6 -69.5	2.490 2.418 2.269	-96.4 -84.0 -83.3	2.481 2.398 2.263	-105.1 -105.7 -89.8	2.482 2.406 2.263	-104.0 -95.7 -89.8	2.465 2.399 2.249	-120.9 -102.2 -103.7	2.455 2.356 2.228	-130.9 -146.1 -124.6
1110		2.567 2.493 2.344		2.563 2.492 2.333	-4.1 -0.8 -10.7	2.551 2.481 2.324	-16.7 -11.7 -19.4	2.540 2.474 2.310	-27.4 -18.8 -34.3	2.532 2.459 2.305	-35.5 -33.7 -38.4	2.520 2.454 2.295	-47.4 -38.5 -48.4	2.511 2.435 2.281	-56.2 -57.5 -62.8	2.509 2.436 2.279	-58.3 -56.9 -64.7	2.495 2.427 2.265	-72.2 -65.9 -79.1	2.488 2.417 2.260	-79.2 -75.9 -84.3	2.490 2.416 2.260	-77.0 -76.8 -84.1	2.476 2.409 2.246	-91.1 -83.7 -97.5	2.464 2.387 2.229	-102.9 -119.9 -114.9
1120		2.476 2.334		2.472 2.328	-4.5 -5																						

Paalu	2.10.1997 korkeus [m]	14.10.1997 korkeus [m]	ero [mm]	6.11.1997 [m]	ero [mm]	14.1.1998 korkeus [m]	ero [mm]	18.4.1998 korkeus [m]	ero [mm]	1.8.1998 korkeus [m]	ero [mm]	1.10.1998 korkeus [m]	ero [mm]	7.4.1999 korkeus [m]	ero [mm]	4.8.1999 korkeus [m]	ero [mm]	1.12.1999 korkeus [m]	ero [mm]	vko 21/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 31/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 49/2000 korkeus [m]	ero [mm]	vko 47/2001 korkeus [m]	ero [mm]
1150		2.570		2.570	-0.1	2.562	-8.3	2.548	-22.0	2.540	-29.9	2.532	-38.1	2.522	-47.9	2.519	-51.8	2.507	-63.1	2.500	-70.4	2.502	-68.6	2.488	-82.0	2.478	-92.8
		2.484		2.493	8.4	2.483	-1.6	2.470	-14.4	2.463	-21.2	2.459	-24.7	2.445	-39.5	2.442	-41.7	2.439	-45.5	2.423	-61.1	2.430	-53.9	2.413	-70.8	2.401	-83.4
		2.317		2.317	0.5	2.307	-10.0	2.298	-18.4	2.288	-29.0	2.277	-39.7	2.261	-55.9	2.258	-58.6	2.245	-71.4	2.238	-78.4	2.241	-75.8	2.229	-87.5	2.222	-94.4
1160		2.600		2.595	-4.8	2.583	-16.7	2.567	-33.2	2.546	-54.1	2.533	-66.9	2.521	-78.9	2.510	-89.4	2.495	-104.6	2.484	-116.7	2.482	-117.4	2.465	-134.9	2.461	-139.3
		2.510		2.506	-4.7	2.489	-21.2	2.468	-44.0	2.447	-63.4	2.435	-75.0	2.426	-84.1	2.403	-107.6	2.401	-109.4	2.386	-124.3	2.384	-126.0	2.366	-144.5	2.357	-153.4
		2.313		2.322	8.7	2.307	-6.3	2.293	-19.5	2.267	-46.1	2.255	-57.9	2.236	-76.5	2.226	-86.4	2.213	-99.8	2.200	-112.8	2.200	-113.0	2.184	-128.6	2.179	-133.5
1170		2.598		2.596	-2.4	2.588	-9.6	2.576	-21.6	2.571	-26.8	2.563	-35.0	2.555	-42.5	2.554	-44.1	2.544	-53.9	2.539	-59.4	2.541	-56.9	2.525	-72.8	2.522	-76.1
		2.496		2.499	2.9	2.486	-10.1	2.474	-22.5	2.467	-29.1	2.462	-33.9	2.459	-37.4	2.448	-47.9	2.448	-48.1	2.429	-67.3	2.438	-58.1	2.423	-73.1	2.422	-74.1
		2.313		2.310	-3.2	2.294	-19.6	2.295	-18.1	2.290	-23.7	2.278	-35.6	2.268	-45.6	2.266	-47.3	2.256	-57.1	2.252	-61.7	2.255	-58.0	2.243	-70.0	2.228	-85.5
1180	2.594	2.585	-8.8	2.584	-9.3	2.576	-17.4	2.568	-25.3	2.564	-30.0	2.555	-38.4	2.549	-44.6	2.548	-45.5	2.536	-57.8	2.561	-32.3	2.534	-59.4	2.518	-75.2	2.512	-81.5
	2.480	2.470	-9.8	2.468	-12.3	2.459	-20.5	2.448	-31.8	2.444	-36.2	2.433	-46.4	2.428	-52.3	2.425	-55.2	2.412	-67.9	2.406	-73.8	2.410	-70.0	2.395	-84.7	2.387	-92.4
	2.298	2.283	-14.6	2.280	-17.3	2.272	-25.4	2.263	-34.9	2.253	-45.2	2.242	-55.4	2.233	-64.8	2.230	-67.8	2.218	-79.9	2.212	-85.7	2.214	-83.8	2.199	-99.1	2.191	-107.0
1190		2.578		2.578	0.3	2.570	-8.2	2.563	-15.2	2.556	-21.9	2.550	-28.3	2.543	-34.9	2.542	-35.9	2.531	-48.4	2.527	-51.0	2.530	-47.5	2.514	-63.6	2.508	-69.5
		2.477		2.469	-8.1	2.480	3.6	2.472	-4.8	2.460	-16.7	2.452	-24.3	2.447	-29.4	2.437	-39.9	2.425	-51.5	2.421	-55.2	2.422	-54.2	2.412	-64.9	2.401	-75.2
		2.314		2.317	3.1	2.296	-18.2	2.297	-17.4	2.294	-20.4	2.283	-31.5	2.270	-44.3	2.267	-47.2	2.260	-54.8	2.252	-62.1	2.255	-59.1	2.241	-73.0	2.240	-74.3
1200		2.573		2.573	-0.9	2.567	-6.4	2.559	-14.4	2.552	-21.6	2.545	-28.1	2.541	-32.7	2.541	-32.6	2.530	-43.2	2.528	-47.3	2.531	-42.6	2.514	-59.4	2.512	-61.9
		2.504		2.504	0.1	2.502	-2.3	2.494	-10.6	2.483	-20.9	2.474	-30.6	2.467	-37.5	2.465	-39.3	2.454	-50.1	2.449	-55.1	2.453	-50.7	2.436	-68.3	2.434	-70.0
		2.348		2.351	3.8	2.341	-6.7	2.333	-14.6	2.327	-21.1	2.318	-29.4	2.300	-48.0	2.299	-48.5	2.290	-57.8	2.283	-64.4	2.286	-61.6	2.272	-75.5	2.276	-71.9
1210		2.554		2.554	0.2	2.548	-5.8	2.541	-12.8	2.538	-16.7	2.528	-26.2	2.523	-31.4	2.522	-32.1	2.513	-41.3	2.510	-43.9	2.515	-39.5	2.499	-55.0	2.499	-54.8
		2.519		2.511	-8.3	2.509	-10.0	2.506	-12.8	2.492	-27.3	2.484	-35.6	2.475	-44.0	2.475	-43.8	2.463	-55.7	2.459	-59.7	2.462	-56.7	2.448	-71.3	2.445	-74.4
		2.364		2.367	3.2	2.359	-5.2	2.343	-21.6	2.336	-28.3	2.332	-32.3	2.314	-50.1	2.312	-52.4	2.299	-64.7	2.295	-68.7	2.298	-66.4	2.284	-80.3	2.282	-82.6
1220	2.557	2.547	-9.4	2.550	-7.3	2.545	-11.5	2.539	-18.2	2.536	-21.2	2.529	-28.0	2.524	-32.7	2.527	-30.1	2.517	-40.0	2.515	-41.8	2.520	-36.5	2.505	-52.0	2.504	-52.8
	2.532	2.521	-11.1	2.520	-12.3	2.515	-17.0	2.508	-23.9	2.504	-27.8	2.495	-36.9	2.488	-43.9	2.492	-39.8	2.480	-51.7	2.477	-54.9	2.481	-50.6	2.465	-66.7	2.461	-70.8
	2.382	2.370	-12.0	2.370	-12.2	2.362	-20.1	2.353	-29.1	2.341	-40.8	2.335	-47.3	2.323	-58.7	2.322	-60.0	2.313	-68.6	2.308	-74.1	2.305	-76.9	2.293	-88.3	2.282	-99.7
1230		2.542		2.542	0.4	2.538	-3.7	2.529	-13.0	2.524	-17.7	2.516	-25.7	2.509	-33.0	2.511	-30.9	2.498	-43.8	2.495	-47.2	2.500	-42.3	2.482	-60.2	2.472	-69.9
		2.506		2.507	0.2	2.501	-5.3	2.498	-10.2	2.484	-22.1	2.482	-24.0	2.463	-42.9	2.472	-34.6	2.457	-49.3	2.455	-50.9	2.461	-45.5	2.445	-61.8	2.434	-71.9
		2.368		2.375	6.2	2.368	-0.7	2.358	-10.3	2.348	-20.3	2.339	-29.8	2.320	-48.1	2.320	-47.9	2.309	-59.4	2.304	-64.0	2.307	-61.2	2.292	-76.3	2.291	-77.4
1240		2.511		2.511	-0.5	2.510	-0.8	2.499	-12.5	2.494	-17.3	2.488	-23.1	2.480	-31.2	2.483	-28.6	2.471	-40.5	2.468	-43.3	2.473	-38.7	2.459	-52.3	2.454	-57.2
		2.507		2.507	0.1	2.500	-6.9	2.496	-10.4	2.490	-16.7	2.480	-27.3	2.476	-30.9	2.477	-29.7	2.466	-40.9	2.459	-47.6	2.468	-39.0	2.449	-58.0	2.445	-61.8
		2.392		2.407	15.5	2.396	3.9	2.390	-1.2	2.379	-12.5	2.373	-18.2	2.353	-38.7	2.351	-40.8	2.339	-52.4	2.335	-57.1	2.337	-54.7	2.323	-68.4	2.328	-63.3
1250		2.477		2.476	-0.7	2.471	-6.0	2.464	-12.5	2.455	-22.0	2.451	-26.2	2.444	-33.1	2.444	-33.0	2.432	-44.9	2.428	-48.6	2.433	-44.1	2.418	-58.8	2.418	-59.2
		2.513		2.512	-1.4	2.510	-3.5	2.494	-11.8	2.494	-18.6	2.488	-27.1	2.478	-35.1	2.483	-30.3	2.468	-44.9	2.465	-48.5	2.469	-44.2	2.454	-59.2	2.447	-66.1
		2.443		2.448	4.4	2.445	1.9	2.436	-7.5	2.429	-14.5	2.422	-21.8	2.405	-38.3	2.404	-39.3	2.391	-52.4	2.387	-56.7	2.390	-53.2	2.375	-68.6	2.374	-69.0
1260	2.466	2.456	-10.1	2.457	-9.4	2.454	-11.8	2.445	-21.6	2.438	-28.4	2.434	-32.5	2.428	-38.6	2.427	-39.4	2.414	-51.7	2.411	-55.2	2.415	-51.4	2.401	-65.3	2.395	-71.5
	2.536	2.527	-9.4	2.526	-9.5	2.523	-12.5	2.514	-21.6	2.509	-27.2	2.502	-34.1	2.495	-40.8	2.498	-38.4	2.485	-51.3	2.481	-55.4	2.485	-50.9	2.470	-66.1	2.464	-72.3
	2.474	2.467	-7.1	2.468	-6.7	2.461	-13.0	2.455	-19.7	2.445	-29.4	2.438	-36.0	2.430	-44.2	2.430	-44.1	2.416	-58.1	2.412	-62.7	2.415	-59.0	2.400	-74.3	2.391	-83.8
1270		2.398		2.400	1.9	2.397	-1.7	2.388	-10.7	2.376	-22.4	2.374	-24.6	2.357	-41.3	2.359	-39.0	2.345	-52.8	2.341	-57.0	2.345	-52.8	2.332	-66.3	2.335	-63.5
		2.543		2.546	2.6	2.540	-3.3	2.533	-10.7	2.523	-20.1	2.519	-24.4	2.510	-33.1	2.513	-29.9	2.501	-42.7	2.497	-46.7	2.501	-42.7	2.487	-56.0	2.479	-64.6
		2.505		2.508	3.1	2.499	-5.9	2.493	-12.5	2.483	-21.8	2.478	-26.9	2.467	-37.8	2.466	-38.6	2.453	-51.8	2.447	-58.4	2.450	-54.7	2.436	-69.1	2.423	-82.4
1280		2.361		2.358	-3.8	2.354	-7.8	2.344	-17.3	2.329	-32.8	2.328	-33.0	2.312	-49.3	2.309	-52.6	2.295	-66.8	2.289	-72.0	2.295	-66.9	2.283	-78.8	2.298	-63.2
		2.555		2.559	3.7	2.552	-3.0	2.546	-9.2	2.539	-15.7	2.531	-24.4	2.523	-32.4	2.525	-30.1	2.512	-42.8	2.509	-46.3	2.512	-42.8	2.500	-54.9	2.492	-63.1
		2.581		2.578	-3.1	2.573	-8.8	2.565	-16.2	2.560	-21.8	2.553	-28.9	2.546	-35.5	2.544	-37.7	2.532	-49.6	2.526	-55.4	2.529	-52.2	2.515	-66.4	2.513	-68.6
1290		2.357		2.352	-5.5	2.336	-21.2	2.336	-21.2	2.317	-40.3	2.318	-39.2	2.302	-55.4	2.294	-63.0	2.282	-75.3	2.278	-78.9	2.278	-78.8	2.268	-88.9	2.269	-88.2
		2.556		2.556	-0.7	2.551	-5.8	2.544	-12.5	2.536	-20.4	2.530	-26.1	2.524	-32.5	2.523	-33.9	2.510	-46.3	2.506	-50.8	2.509	-47.8	2.496	-60.4	2.503	-53.1
		2.629		2.628	-1.0	2.624	-5.7	2.616	-13.5	2.610	-19.4	2.603	-26.2	2.598	-31.0	2.594	-35.0	2.583	-46.5	2.578	-51.3	2.580	-49.5	2.567	-62.2	2.565	-64.7
1300	2.336	2.327	-9.3	2.328	-8.5	2.321	-14.7	2.312	-23.8	2.297	-39.0	2.291	-45.0	2.290	-45.7	2.281	-55.4	2.268	-68.2	2.263	-73.1	2.264	-72.1	2.252	-83.7	2.224	-112.1



Tieliikelaitos
Jorma Immonen
PL 157
00521 Helsinki

Tieliikelaitos/Erja Vallila

Ilola-Sannainen

Näytteenottopäivä: 23.1.2001

Työn aloituspäivä: 23.1.2001

Näytteenottaja: Asiakas/ Peter Silvan

0000/01102/2001/156

Numeroiden selitys:
156 Siiviläkaivo

Määrittäminen	Laatu	Menetelmä	156
Liukoinen kromi ¹⁾	µg/l	ICP-MS	<1
Liukoinen kupari ¹⁾	µg/l	ICP-MS	33.9
Liukoinen lyijy ¹⁾	µg/l	ICP-MS	1.8
Liukoinen mangaani ¹⁾	mg/l	ICP-AES	5.8
Liukoinen rauta ¹⁾	mg/l	ICP-AES	12.7
Liukoinen sinkki ¹⁾	µg/l	ICP-MS	44.3
Sulfaatti SO ₄	mg/l	Komitea 1968	650
Sähkönjohtavuus 25 °C	mS/m	SFS-EN 27888	170
pH-luku		SFS 3021	3.4
PAH (polyarom. hiilivedyt) ²⁾	µg/l	GC-MS	ks.liite

Muut määrittämislaboratoriot: 1) GTK, Geologian tutkimuskeskus
2) Helsingin kaupungin ympäristökeskus, ympäristölaboratorio

LAUSUNTO

Liukoiset metallit ja alkuaineet määritettiin suodatetusta (0,45 µm) vedestä.

Tulosten jakelu:
Tieliikelaitos/Jorma Immonen
Tieliikelaitos/Erja Vallila

Kari Kamppi
MMK, limnologi

Liite. PAH-tulokset.

	Vesi 156 (01-695-06)
Compound	Kons. ng/l
naphthalene	11
2-methylnaphthalene	em. (<3.5)
1-methylnaphthalene	12
biphenyl	em. (<2.4)
2,6-dimethylnaphthalene	21
acenaphthylene	177
acenaphthene	20
2,3,5-trimethylnaphthalene	ei tod. (<3)
fluorene	25
phenanthrene	22
anthracene	8
1-methylphenanthrene	32
fluoranthene	16
pyrene	21
benz(a)anthracene	3
chrysene	3
benzo(b)fluoranthene	em. (<3.5)
benzo(k)fluoranthene	em. (<3.3)
benzo(e)pyrene	ei tod. (<2)
benzo(a)pyrene	ei tod. (<2.7)
perylene	ei tod. (<2.2)
indeno(1,2,3-cd)pyrene	ei tod. (<1.8)
dibenz(a,h)anthracene	ei tod. (<2.9)
benzo(ghi)perylene	ei tod. (<1.9)
Sum of PAHs	379



Tieliikelaitos/Jorma Immonen
PL 157
00521 Helsinki

Tieliikelaitos/Jorma Immonen**Kumirouherakenteen vesitutkimus, VT7 Ilola- Sannainen**

Näytteenottopäivä: 4.11.2002

Työn aloituspäivä: 5.11.2002

Näytteenottaja: SKOY/M.Wi

4000-01102/2002/3544-3546

Numeroiden selitys:

3544 Ilola-Sannainen, lysimetrien keräilykaivo

3546 Ilolanjoki

3545 Ilola- Sannainen, pohjavesiputki pl 1080

Määrittäminen	Laatu	Menetelmä	3544	3545	3546
Syvyys	m				0.3
Vedenkorkeus putken päästä	m		-1.80	-1.08	
Lämpötila	°C	Eloh.mittari	7.1	6.2	0.3
Liukoinen kromi ¹⁾	mg/l	ICP-MS	<0.001	<0.001	<0.001
Liukoinen kupari ¹⁾	mg/l	ICP-MS	0.002	0.001	0.003
Liukoinen lyijy ¹⁾	mg/l	ICP-MS	<0.0005	<0.005	<0.0005
Liukoinen mangaani ¹⁾	mg/l	ICP-MS	2.0	0.24	0.046
Liukoinen rauta ¹⁾	mg/l	ICP-MS	2.1	0.37	1.1
Liukoinen sinkki ¹⁾	mg/l	ICP-MS	0.020	0.003	0.003
Sulfaatti SO ₄	mg/l	Komitea 1968	330	18	27
Redox-potentiaali	mV	Vetyelektrod	415	196	428
Sähkönjohtavuus 25 °C	mS/m	SFS-EN 27888	90	84	30
pH-luku		SFS 3021	5.9	7.5	7.4
PAH (polyarom. hiilivedyt) ¹⁾	µg/l	GC-MS	ks.liite	ks.liite	ks.liite
Kiintoaine	mg/l	SFS-EN 872	3	3	6

Muut määrittämislaboratoriot: 1) Helsingin kaupungin ympäristökeskus, ympäristölaboratorio

LAUSUNTO

Redox-tulokset on muunnettu laskennallisesti vetyelektrodiasteikolle, jota käytetään yleisenä redox-tulosten ilmoitusasteikkona.

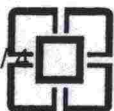
Lysimetrikaivon vesi oli kirkasta, mutta ruskeita hiukkasia sisältävää, ja rikkivedyn hajuista. Näytteenoton jälkeen kaivosta pumpattiin vettä noin 60 litraa, jonka jälkeen pumpun akusta loppui virta, eikä pumpausta voitu enää jatkaa. Sulfaattipitoisuus oli korkea.

Pohjavesiputken näyte otettiin akkukäyttöisellä uppopumpulla. Ennen näytteen ottoa putken vettä vaihdettiin pumpaamalla 25 minuuttia antoisuudella 2,6 litraa/minuutti. Vesi oli väritöntä, kirkasta ja lievästi rikkivedyn hajuista.

Ilolanjoessa vesi oli sameaa, lievästi ruskeaa ja hajutonta.

PAH-tulokset ovat liitteenä.

Tiedoksi: SCC Viatek Oy/Erja Vallila, PL 3, 02241 Espoo.



Kari Kamppi
MMK, limnologi

HELSINGIN KAUPUNKI
YMPÄRISTÖKESKUS
Ympäristölaboratorio

LIITE 1.
Tutkimustodistukseen 2002-08952 PAH
12.12.2002

Laboratorion näytetunnus:	2002-08952-01	2002-08952-02	2002-08952-03
Asiakkaan näytetunnus:	Vesi 3544	Vesi 3545	Vesi 3546
YHDISTE	Pitoisuus	Pitoisuus	Pitoisuus
	ng/l	ng/l	ng/l
Naftaleeni	em. (<2.6)	48	3,2
2-metyyli-naftaleeni	ei tod. (<1.5)	5,7	ei tod. (<1.5)
1-metyyli-naftaleeni	em. (<3.8)	7,5	em. (<3.8)
Bifenyyli	ei tod. (<1)	2,6	ei tod. (<1)
2,6-dimetyyli-naftaleeni	ei tod. (<1.2)	ei tod. (<1.2)	ei tod. (<1.2)
Acenaftyleeni	ei tod. (<0.9)	8,8	4,8
Acenaftteeni	8,5	ei tod. (<1.5)	ei tod. (<1.5)
2,3,5-trimetyyli-naftaleeni	ei tod. (<3)	ei tod. (<3)	ei tod. (<3)
Fluoreeni	55	5,4	4,7
Fenantreeni	14	17	14
Antraseeni	3,1	em. (<1.8)	2,4
1-metyylifenantreeni	ei tod. (<1.2)	ei tod. (<1.2)	ei tod. (<1.2)
Fluoranteeni	11	8,6	10
Pyreeni	3,0	4,6	6,8
Bentso(a)antraseeni	2,1	1,8	2,8
Kryseeni	6,6	1,7	4,4
Bentso(b)fluoranteeni	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)
Bentso(k)fluoranteeni	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)
Bentso(e)pyreeni	ei tod. (<2)	ei tod. (<2)	em. (<4.7)
Bentso(a)pyreeni	ei tod. (<3.0)	ei tod. (<3.0)	4,8
Peryleeni	ei tod. (<2.2)	ei tod. (<2.2)	em. (<5.4)
Indeno(1,2,3-cd)pyreeni	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)
Dibentso(a,h)antraseeni	ei tod. (<2.9)	ei tod. (<2.9)	ei tod. (<2.9)
Bentso(g,h,i)peryleeni	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)	ei tod. (<10.0)
Yllämainitut PAH yhteensä	104	112	58
PAH-määritys tehtiin jääkaapissa laskeutetusta näytteestä!			
ei tod. = ei todettu, suluiassa toteamisraja			
em. = pitoisuus alle määrittäysrajan, suluiassa määrittäysraja			